



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI POLA KONSENTRASI KUALITAS UDARA
AMBIEN KOTA SURABAYA (PARAMETER: NO,
NO₂, O₃)**

***STUDY OF AMBIENT AIR QUALITY
CONCENTRATION PATTERNS IN SURABAYA
(PARAMETERS : NO, NO₂, O₃)***

QORY CONSTANTYA

3313100026

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI POLA KONSENTRASI KUALITAS UDARA
AMBIEN KOTA SURABAYA (PARAMETER: NO,
NO₂, O₃)**

***STUDY OF AMBIENT AIR QUALITY
CONCENTRATION PATTERNS IN SURABAYA
(PARAMETERS : NO, NO₂, O₃)***

QORY CONSTANTYA

3313100026

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI POLA KONSENTRASI KUALITAS UDARA AMBIEN
KOTA SURABAYA (PARAMETER : NO, NO₂, O₃)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh
QORY CONSTANTYA
NRP. 3313100026

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr.Eng. Arie Dipareza Syafei, ST.,MEPM

NIP. 19820119 200501 1 001



STUDI POLA KONSENTRASI KUALITAS UDARA AMBIEN KOTA SURABAYA (PARAMETER: NO, NO₂, O₃)

Nama Mahasiswa : Qory Constantya
NRP : 3313100026
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST.,
MEPM

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan fisik kota dan pusat industri, serta berkembangnya transportasi semakin meningkat. Kualitas udara mengalami perubahan karena terjadinya pencemaran udara. Pencemaran udara disebabkan adanya parameter konsentrasi udara yang melebihi baku mutu. O₃ merupakan parameter yang perlu diperhatikan. Ozon adalah pelindung bumi dari sinar ultraviolet yang berlebih. Apabila lapisan ozon mengalami kerusakan maka menimbulkan beberapa kerusakan seperti kanker kulit untuk manusia dan peningkatan suhu bumi. Salah satu pencemar udara adalah NO_x. NO_x adalah senyawa yang terdiri dari NO dan NO₂. NO_x merupakan pencemar yang sumber utamanya dari pembakaran, baik dari pembakaran kendaraan maupun dari aktifitas industri. NO_x juga dapat terbentuk saat suhu dan tekanan tinggi seperti pada mesin kendaraan bermotor maupun pada boiler. NO_x juga merupakan penyumbang berbagai permasalahan lingkungan dan kesehatan. Oleh karena itu diperlukan suatu pengelolaan kualitas udara dengan cara memasang sistem pemantauan udara.

Studi ini menggunakan sistem pemantauan udara konsentrasi NO_x menggunakan mikrokontroler ATmega 16 dengan sensor mq-135. *Output* dari sistem ini masih dalam satuan tegangan atau *volt* sedangkan satuan dari konsentrasi udara adalah ppm maka dilakukan kalibrasi dahulu. Kalibrasi dilakukan pada stasiun pemantau udara (SUF) 1 (satu) di taman prestasi Kota Surabaya. Metode

yang digunakan adalah metode *co-location* dan dari kalibrasi didapatkan persamaan matematis. Selain itu pada studi ini ditentukan pola harian (*diurnal pattern*) konsentrasi pencemar NO, NO₂, O₃ dari stasiun pemantau udara (SUF) 1 (satu), 6 (enam) dan 7 (tujuh). Lalu dilakukan evaluasi konsentrasi pencemar NO₂, NO_x dan O₃ terhadap baku mutu udara ambien. Pola konsentrasi dan evaluasi menggunakan grafik dimana sumbu X adalah waktu (menit) dan sumbu Y adalah konsentrasi NO, NO₂ dan O₃. Kemudian dilakukan studi tentang pengaruh meteorologi, hari libur, *car free day*, akhir pekan dan libur panjang terhadap konsentrasi pencemar. Penentuan korelasi menggunakan metode multilevel model.

Hasil kalibrasi alat pemantau udara dapat dikatakan buruk dengan nilai regresi 0,001. Alat ini belum bisa digunakan sebagai pengganti SUF saat ini. Alat ini dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk alat serupa selanjutnya. Pola harian konsentrasi NO dan NO₂ memiliki 2 waktu puncak yaitu pada pagi dan sore hari. Pola harian O₃ memiliki waktu puncak pada siang hari. Hasil evaluasi menunjukkan sumber pencemar SUF 1 dari arah barat sedangkan SUF 6 dan 7 dari arah timur. Meteorologi mempengaruhi konsentrasi NO, NO₂ dan O₃. Selain kondisi meteorologi, kepadatan lalu lintas juga mempengaruhi konsentrasi NO, NO₂ dan O₃. Hal ini dapat dilihat konsentrasi NO, NO₂ dan O₃ saat *car freeday*, akhir pekan maupun libur panjang.

Kata kunci : NO, NO_x, NO₂, O₃, stasiun pemantau udara

STUDY OF AMBIENT AIR QUALITY CONCENTRATION PATTERNS IN SURABAYA (PARAMETERS : NO, NO₂, O₃)

Name : Qory Constantya
NRP : 3313100026
Departement : Teknik Lingkungan
Supervisor : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM

ABSTRACT

The development of physical development of the city and industrial center, as well as the development of transportation is increasing. Air quality has a change due to the air pollution. Air pollution caused by air concentration exceeds the parameters of the standard. O₃ is parameter that need to be considered. Ozone is a protective earth from excessive ultraviolet light. If the ozone layer is damaged then inflict some kind of damage to the human cause skin cancer and the increase in temperature of the earth. One is the air pollutant NO_x. NO_x is a compound consisting of NO and NO₂. NO_x is a pollutant that is the main source of combustion, both from burning vehicles and of industrial activity. NO_x can be formed when high temperatures and pressures such as in motor vehicle engines or in boilers. NO_x is also a contributor to various environmental problems and health. So we need a way to manage air quality by installing air monitoring system.

This study uses air monitoring system using the NO_x concentration ATmega microcontroller 16 with sensor mq-135. The output of the system is still in units of volts while the voltage or units of air concentrations are ppm, waged first calibration. Calibration is performed at air monitoring stations (SUF) 1 (one) located in the Taman Prestasi Surabaya. The method used is the method of co-location and calibration obtained from mathematical equations. Additionally in this study determined daily patterns (diurnal pattern) pollutant concentrations of NO,

NO₂, O₃ from air monitoring station (SUF) 1 (one), 6 (six) and 7 (seven). Then do the evaluation of pollutant concentrations of NO, NO₂ and O₃. The pattern of concentration and evaluation using a chart where the X axis is the time (minutes) and the Y axis is the concentration of NO, NO₂ and O₃. Then do the study on the influence of meteorology, holidays, car-free day, weekend and long holiday to the concentration of pollutants by using multilevel models.

The results of air monitoring equipment calibration can be said to be bad with the regression value of 0.001. Air monitoring system can not be used as a replacement for the current SUF. This air monitoring system can be used as an evaluation for the next similar tool. Daily pattern of NO and NO₂ concentrations have 2 peak hours. That is in the morning and afternoon. Daily pattern of O₃ has a peak time during the day. The evaluation results indicate pollution source for SUF 1 from west and SUF 6 and 7 from east. Meteorological affect concentrations of NO, NO₂ and O₃. In addition to meteorological conditions, traffic density also affects the concentration of NO, NO₂ and O₃. It can be seen concentrations of NO, NO₂ and O₃ on the car Freeday, as well as the long holiday weekend.

Keywords : NO_x, NO, O₃, NO₂, air monitoring station

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kenikmatan, kemudahan, petunjuk serta karunia-Nya. Pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS dengan Judul “**Studi Pola Konsentrasi Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya (Parameter : NO, NO₂, O₃)**”.

Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak memberikan kontribusi terhadap tugas akhir ini, diantaranya adalah

1. Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan laporan tugas akhir.
2. Bapak Dr.Ir. Agus Slamet, DiplSE, M.Sc., Bapak Dr.Ir. Rachmat Boedisantoso, MT., Bapak Alfian Purnomo, ST, MT selaku dosen penguji.
3. Orang tua penulis dan saudara penulis, Zainuri, Yuli Iswahyuni dan Sherilla Abdi Kasih yang telah memberikan dukungan, materi dan doa yang tiada batas.
4. Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya yang telah memberikan bantuan dalam fasilitas dan informasi.
5. Teman-teman yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Dengan selesainya Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa penelitian tugas akhir ini masih belum sempurna. Saran dan kritik yang membangun di harapkan untuk mengembangkan penelitian ini.

Surabaya, Mei 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan	7
1.4 Ruang Lingkup	8
1.5 Manfaat	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Udara	11
2.1.1 Pengertian Udara	11
2.1.2 Pengertian Pencemaran Udara.....	11
2.1.3 Penyebab Pencemaran Udara.....	12
2.1.4 Klasifikasi Jenis Polutan Udara	13
2.1.5 Sumber Pencemar Udara	14
2.1.6 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara	17
2.1.7 Efek Pencemaran Udara.....	18
2.1.8 Pengendalian Pencemaran Udara	22
2.2 Nitrogen Dioksida (NO ₂)	23

2.3	Nitrogen Oksida (NO _x).....	23
2.3.1	Sumber Pencemar Gas NO _x	23
2.3.2	Pembentukan Nitrogen Oksida (NO _x).....	25
2.3.3	Pengaruh Gas Nitrogen Oksida (NO _x) Terhadap Kesehatan	26
2.3.4	Pengaruh Gas Nitrogen Oksida (NO _x) Terhadap Lingkungan.....	28
2.3.5	Pengendalian Pencemar Gas NO _x	29
2.4	Ozon (O ₃)	29
2.4.1	Pembentukan Ozon (O ₃).....	29
2.4.2	Kerusakan Lapisan Ozon (O ₃)	30
2.5	Alat Pemantau Berbasis Mikrokontroller.....	30
2.5.1	Mikrokontroller ATmega 16.....	30
2.5.2	Sensor MQ-135	32
2.6	ISPU (Indeks Standart Pencemaran Udara).....	33
2.7	Stasiun Pemantau Kualitas Udara Ambien.....	34
2.8	Pengaruh Hari Libur Terhadap Polusi Udara	34
2.9	Hubungan antara O ₃ , NO dan NO ₂	35
2.10	Pengaruh <i>Car Free Day</i> Terhadap Kualitas Udara	36
2.11	Analisa dan Interpretasi Data Pemantauan Kualitas Udara.....	37
2.12	Kalibrasi Alat Pemantau Udara berbasis Mikrokontroler dengan Aeroqual	39
2.13	Kalibrasi menggunakan Chamber Gas.....	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		43
3.1	Umum	43
3.2	Kerangka Penelitian.....	44
3.3	Penjelasan Kerangka Penelitian	44

3.3.1	Ide Penelitian.....	44
3.3.2	Perumusan Masalah.....	46
3.3.3	Perumusan Tujuan	47
3.3.4	Studi literatur	47
3.3.5	Penetapan Kebutuhan Data.....	47
3.3.6	Analisa Data.....	49
3.3.7	Pembahasan Data.....	50
3.3.8	Kesimpulan dan saran	50
3.4	Sumber Data	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		53
4.1	Hasil Kalibrasi Alat Pemantau Udara Berbasis Mikrokontroller.....	53
4.2	Pola Harian Konsentrasi Pencemar NO, NO ₂ dan O ₃	57
4.3	Evaluasi Konsentrasi Pencemar NO ₂ , NO _x dan O ₃	66
4.3.1	Evaluasi Konsentrasi Pencemar NO ₂	66
4.3.2	Evaluasi Konsentrasi Pencemar NO _x	71
4.3.3	Evaluasi Konsentrasi Pencemar O ₃	76
4.3.4	Evaluasi Stasiun Pemantau Udara (SUF) 1.....	82
4.3.5	Evaluasi Stasiun Pemantau Udara (SUF) 6.....	89
4.3.6	Evaluasi Stasiun Pemantau Udara (SUF) 7.....	97
4.4	Pengaruh Meteorologi, Akhir Pekan, <i>Car Free day</i> dan Libur Panjang.....	106
4.5	Ringkasan Pembahasan Penelitian.....	113
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		119
5.1	Kesimpulan	119
5.2	Saran	120
DAFTAR PUSTAKA.....		121

LAMPIRAN A.....	125
BIOGRAFI PENULIS.....	133

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Lokasi Stasiun Pemantau di Indonesia	3
Tabel 2. 1 Baku Mutu Parameter NO ₂	23
Tabel 2. 3 Angka dan Kategori Index Standart Pencemar Udara (ISPU) dan Dampak Kesehatan	33
Tabel 3. 1 Data Primer dan Sekunder yang Dibutuhkan	48
Tabel 3. 2 Periode Data	50
Tabel 3. 3 Jumlah Total Data	51
Tabel 3. 4 Data yang Tersedia	51
Tabel 3. 5 Persentase Data Hilang (%).....	51
Tabel 4. 1 Koefisien NO, NO ₂ dan O ₃ SUF 1	64
Tabel 4. 2 Koefisien NO, NO ₂ dan O ₃ SUF 6	64
Tabel 4. 3 Koefisien NO, NO ₂ dan O ₃ SUF 7	64
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Jumlah Data yang Melebihi Baku Mutu	82
Tabel 4. 5 Kinerja jalan A.Yani	106
Tabel 4. 6 Libur Panjang Berdasarkan Kalender Masehi	107
Tabel 4. 7 <i>Random Effect</i> Parameter NO	107
Tabel 4. 8 <i>Random Effect</i> Parameter NO ₂	108
Tabel 4. 9 <i>Random Effect</i> Parameter O ₃	108
Tabel 4. 10 Korelasi meteorologi, akhir pekan, <i>car freeday</i> dan libur panjang terhadap pencemar	108
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Jumlah Data yang Melebihi Baku Mutu	115
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Evaluasi SUF 1	115
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Evaluasi SUF 6	116
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Evaluasi SUF 7	116

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 2 Alat Pemantau Konsentrasi NO _x Berbasis Mikrokontroller.....	5
Gambar 2. 1 mikrokontroller ATmega16.....	31
Gambar 2. 2 konfigurasi sensor MQ-135.....	32
Gambar 2. 3 rangkaian sensor Mq-135.....	32
Gambar 2. 4 Pola Mingguan Parameter NO.....	37
Gambar 2. 5 Pola Mingguan Parameter NO ₂	37
Gambar 2. 6 Pola Mingguan Parameter O ₃	38
Gambar 2. 7 Konsentrasi NO ₂ pada tahun 2001-2002 pada Stasiun Pemantau Ketabang Kali.....	38
Gambar 2. 8 Konsentrasi O ₃ pada tahun 2001-2002 pada Stasiun Pemantau Ketabang Kali.....	39
Gambar 2. 9 Hasil Kalibrasi Alat Pemantau dengan Aeroqual.....	39
Gambar 2. 10 Hasil perancangan rangkaian transmitter dan receiver.....	40
Gambar 2. 11 Sistem Kerja Kalibrasi.....	41
Gambar 2. 12 Hubungan Konsentrasi Gas CO dengan Data Digital.....	42
Gambar 3. 1 Alat Pemantau Udara Parameter NO _x berbasis Mikrokontroller.....	43
Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian.....	45
Gambar 4. 1 Prinsip kerja alat pemantau udara berbasis mikrokontroller.....	53
Gambar 4. 2 Kondisi Ruang di Dalam Stasiun Monitoring Kualitas Udara Ambien.....	54
Gambar 4. 3 Proses Pemasangan Alat Pemantau Udara Berbasis Mikrokontroller di SUF 1 Taman Prestasi.....	54
Gambar 4. 4 Proses Pelepasan Alat Pemantau Udara Berbasis Mikrokontroller di SUF 1 Taman Prestasi.....	55
Gambar 4. 5 Konsentrasi NO _x (ppm).....	55
Gambar 4. 6 Konsentrasi NO _x (Volt).....	56
Gambar 4. 7 Hasil Kalibrasi Alat Pemantau Udara Berbasis Mikrokontroller di SUF 1 Taman Prestasi.....	56
Gambar 4. 8 Pola Harian Pencemar NO SUF 1, 6 dan 7.....	58

Gambar 4. 9 Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 1 Taman Prestasi	59
Gambar 4. 10 Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 6 Wonorejo	59
Gambar 4. 11 Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 7 Kebonsari	60
Gambar 4. 12 Pola Harian Pencemar NO ₂ SUF 1, 6 dan 7	60
Gambar 4. 13 Grafik Konsentrasi NO ₂ dengan Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 1	61
Gambar 4. 14 Grafik Konsentrasi NO ₂ dengan Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 6	61
Gambar 4. 15 Grafik Konsentrasi NO ₂ dengan Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 7	62
Gambar 4. 16 Pola Harian Pencemar O ₃ SUF 1, 6 dan 7	63
Gambar 4. 17 SUF 1 Parameter NO ₂ Tahun 2012	66
Gambar 4. 18 SUF 1 Parameter NO ₂ Tahun 2013	67
Gambar 4. 19 SUF 1 Parameter NO ₂ Tahun 2016	67
Gambar 4. 20 SUF 6 Parameter NO ₂ Tahun 2014	68
Gambar 4. 21 SUF 6 Parameter NO ₂ Tahun 2015	68
Gambar 4. 22 SUF 6 Parameter NO ₂ Tahun 2016	69
Gambar 4. 23 SUF 7 Parameter NO ₂ Tahun 2014	69
Gambar 4. 24 SUF 7 Parameter NO ₂ Tahun 2015	70
Gambar 4. 25 SUF 7 Parameter NO ₂ Tahun 2016	70
Gambar 4. 26 SUF 1 Parameter NO _x Tahun 2012	71
Gambar 4. 27 SUF 1 Parameter NO _x Tahun 2013	72
Gambar 4. 28 SUF 1 Parameter NO _x Tahun 2016	72
Gambar 4. 29 SUF 6 Parameter NO _x Tahun 2014	73
Gambar 4. 30 SUF 6 Parameter NO _x Tahun 2015	73
Gambar 4. 31 SUF 6 Parameter NO _x Tahun 2016	74
Gambar 4. 32 SUF 7 Parameter NO _x Tahun 2014	74
Gambar 4. 33 SUF 7 Parameter NO _x Tahun 2015	75
Gambar 4. 34 SUF 7 Parameter NO _x Tahun 2016	75
Gambar 4. 35 SUF 1 Parameter O ₃ Tahun 2012	76
Gambar 4. 36 SUF 1 Parameter O ₃ Tahun 2013	77
Gambar 4. 37 SUF 1 Parameter O ₃ Tahun 2014	77
Gambar 4. 38 SUF 1 Parameter O ₃ Tahun 2015	78
Gambar 4. 39 SUF 1 Parameter O ₃ Tahun 2016	78
Gambar 4. 40 SUF 6 Parameter O ₃ Tahun 2014	79
Gambar 4. 41 SUF 6 Parameter O ₃ Tahun 2015	79

Gambar 4. 42	SUF 6 Parameter O_3 Tahun 2016	80
Gambar 4. 43	SUF 7 Parameter O_3 Tahun 2014	80
Gambar 4. 44	SUF 7 Parameter O_3 Tahun 2015	81
Gambar 4. 45	SUF 7 Parameter O_3 Tahun 2016	81
Gambar 4. 46	Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 1	83
Gambar 4. 47	Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 1	83
Gambar 4. 48	Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 40/1999 pada SUF 1	84
Gambar 4. 49	Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 1	84
Gambar 4. 50	Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 1	84
Gambar 4. 51	Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 40/1999 pada SUF 1	85
Gambar 4. 52	Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF 1 Taman Prestasi	85
Gambar 4. 53	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 1	86
Gambar 4. 54	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 1	86
Gambar 4. 55	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 40/1999 pada SUF 1	86
Gambar 4. 56	Lokasi SUF 1 Taman Prestasi Kota Surabaya	87
Gambar 4. 57	Stasiun Monitoring Udara Ambien di Taman Prestasi	88
Gambar 4. 58	Kondisi Jalan Tunjungan di Sisi Barat SUF 1 Taman Prestasi	88
Gambar 4. 59	Pengaturan Fase Simpang Bersinyal 2 Fase	89

Gambar 4. 60	Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 6.....	90
Gambar 4. 61	Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 6	90
Gambar 4. 62	Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 6.....	90
Gambar 4. 63	Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 6	91
Gambar 4. 64	Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 6.....	91
Gambar 4. 65	Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 6	92
Gambar 4. 66	Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 6.....	92
Gambar 4. 67	Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 6.....	92
Gambar 4. 68	Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF 6 Wonorejo.....	93
Gambar 4. 69	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 6.....	93
Gambar 4. 70	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 6.....	94
Gambar 4. 71	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 6.....	94
Gambar 4. 72	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 6.....	94

Gambar 4. 73 Lokasi SUF 6 Wonorejo Kota Surabaya	95
Gambar 4. 74 Stasiun Monitoring Udara Ambien di Kebun Bibit Wonorejo	96
Gambar 4. 75 Pasar di Timur SUF 6 Wonorejo.....	96
Gambar 4. 76 Pemukiman di Timur Suf 6 Wonorejo	97
Gambar 4. 77 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO ₂ Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Jam pada SUF 7	97
Gambar 4. 78 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO ₂ Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 7.....	98
Gambar 4. 79 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO _x pada SUF 7	98
Gambar 4. 80 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O ₃ Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 7.....	98
Gambar 4. 81 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O ₃ Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 7	99
Gambar 4. 82 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO ₂ Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Jam pada SUF 7	99
Gambar 4. 83 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO ₂ Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 7.....	100
Gambar 4. 84 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO _x pada SUF 7	100
Gambar 4. 85 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O ₃ Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 7.....	100
Gambar 4. 86 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O ₃ Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 7	101
Gambar 4. 87 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF 7 Kebonsari	101
Gambar 4. 88 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO ₂ Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Jam pada SUF 7	102

Gambar 4. 89	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 7.....	102
Gambar 4. 90	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 7.....	102
Gambar 4. 91	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 7.....	103
Gambar 4. 92	Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 7.....	103
Gambar 4. 93	Lokasi SUF 7 Kebonsari Kota Surabaya	104
Gambar 4. 94	Stasiun Monitoring Udara Ambien di Kelurahan Kebonsari	104
Gambar 4. 95	Jalan Tol di Sisi Timur SUF 7.....	105
Gambar 4. 96	Pemukiman di Sisi Timur SUF 7.....	105
Gambar 4. 97	Konsentrasi NO_x di Titik Pertama (<i>Pizza Hut</i>)	112
Gambar 4. 98	Konsentrasi NO_x di Titik Kedua (<i>Loop Station</i>)....	112
Gambar 4. 99	Konsentrasi NO_x di Titik Ketiga (<i>Pediasure</i>).....	112

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel A. 1 Konsentrasi NO _x Pada Alat Mikrokontroler (Volt) dan Pada SUF 1 (ppm)	125
Tabel A. 2 Konsentrasi NO _x di <i>Car FreeDay</i>	128

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara merupakan faktor yang penting dalam hidup dan kehidupan. Namun pada era modern ini, sejalan dengan perkembangan pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, serta berkembangnya transportasi, maka kualitas udara pun mengalami perubahan yang disebabkan oleh terjadinya pencemaran udara, atau sebagai berubahnya salah satu komposisi udara dari keadaan yang normal yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara dalam jumlah tertentu untuk jangka waktu yang cukup lama, sehingga dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan dan tanaman (BPLH DKI Jakarta, 2013).

Pertumbuhan aktivitas ekonomi dan urbanisasi yang cukup tinggi baik diperkotaan dan subperkotaan berpotensi besar dalam peningkatan penggunaan konsumsi energi, seperti pada kebutuhan bahan bakar guna pembangkit tenaga listrik, tungku-tungku industri dan transportasi. Pembakaran bahan bakar ini merupakan sumber-sumber pencemar utama yang dilepaskan ke udara seperti CO_x , NO_x , SO_x , SPM (*suspended particulat metter*), O_x dan berbagai logam berat. Sektor transportasi sebagai tulang punggung aktifitas manusia mempunyai kontribusi yang cukup besar bagi pencemaran udara, 44% TSP (*total suspended particulate*), 89% hidrokarbon, 100% PB dan 73% NO_x (Budiyono, 2001).

Nitrogen dioksida merupakan salah komponen yang mempengaruhi terhadap kualitas udara. Nitrogen dioksida (NO_2) juga merupakan salah satu gas beracun. Sumber pencemar NO_2 aktivitas kendaraan bermotor, industri maupun rumah tangga.

Emisi Nitrogen oksida (NO_x) merupakan penyumbang dari berbagai permasalahan lingkungan seperti hujan asam dan asidifikasi pada sistem akuatik, pelubangan lapisan ozon dan penurunan visibilitas. Oleh sebab itu, emisi NO_x di atur dengan

berbagai tingkat yang berbeda pada pemerintahan seluruh negeri. NO_x merupakan polutan gas yang paling sulit dikontrol dari hasil pembakaran. Dua gas dari nitrogen oksida, Nitric oksida (NO) dan Nitrogen dioksida (NO_2), secara kolektif dikenal sebagai polusi NO_x yang di emisikan dari proses pembakaran sebagai jenis jejak. Nitrogen Oksida memiliki komposisi 97 sampai 98 persen Nitric oksida (NO) dan sekitar 2 sampai 3 persen Nitrogen dioksida (NO_2). Dalam proses pembakaran, NO_x terbentuk ketika temperatur dalam proses pembakaran cukup tinggi untuk nitrogen di udara bereaksi dengan oksigen (Majid, 2013).

NO_x memiliki dampak buruk bagi manusia maupun lingkungan apabila konsentrasinya terlalu tinggi. Sehingga diperlukan pemantauan terhadap konsentrasi NO_x di udara. Pemantauan NO_x dapat menggunakan suatu alat pendeteksi. Seperti beberapa alat dari penelitian sebelumnya seperti Wicaksono dan Suismono membuat sebuah alat yang digunakan untuk mendeteksi gas CO, CO_2 dan NO_x . Peralatan yang digunakan menggunakan sensor TGS 2201 dan TGS 4161 sebagai detektor gas, mikrokontroler AT89S51 yang diprogram menggunakan *assembly* sebagai pengolah sinyal dan *dot matrix* sebagai penampil nilai konsentrasi. Peralatan dilengkapi dengan *light emitting diode (LED)* merah yang menyala ketika konsentrasi gas yang terdeteksi melebihi ambang batas. Sensor yang digunakan mampu mendeteksi gas CO sampai konsentrasi 300 ppm, gas CO_2 sampai 10.000 ppm dan gas NO_x sampai 1 ppm (Jati dan Lelono, 2013).

O_3 juga merupakan parameter kualitas udara yang harus diperhatikan. Hal ini disebabkan karena ozon (O_3) sangat reaktif (Rani, 2011). Ozon berada di lapisan stratosfer yang berfungsi sebagai filter sinar UV yang akan masuk ke dalam bumi. Apabila terjadi kerusakan pada lapisan ozon maka sinar UV tidak dapat difilter dengan baik. Hal tersebut dapat mengakibatkan berbagai masalah seperti kanker kulit pada manusia dan suhu bumi yang semakin meningkat disertai dengan mencairnya es pada kutub.

Oleh karena pentingnya kualitas udara, maka perlu adanya pengelolaan kualitas udara yang salah satunya adalah dengan memasang stasiun pemantau kualitas udara. Di Indonesia, stasiun pemantau kualitas udara cukup banyak yang

di bangun. Ada 10 kota yang memiliki stasiun pemantau, yaitu: Medan, Pekanbaru, Pontianak, Palangkaraya, Jambi, DKI Jakarta, Bandung, Semarang, Surabaya, Denpasar. Tabel 1.1 di bawah menunjukkan jumlah stasiun pemantau permanen (*fixed*) dan bergerak (*mobile*) diambil dari anonim (2010), kecuali data Surabaya yang diambil dari data terkini.

Tabel 1. 1 Lokasi Stasiun Pemantau di Indonesia

No	Kabupaten/Kota	<i>Fixed Station</i>	<i>Mobile Station</i>
1	Medan	4	1
2	Pekanbaru	3	1
3	Jambi	2 (1 untuk PM ₁₀)	-
4	Pontianak	2 (1 untuk PM ₁₀)	-
5	Palangkaraya	3	1
6	DKI Jakarta	5	1
7	Bandung	5	1
8	Semarang	3	1
9	Surabaya	7	-
10	Denpasar	6 (3 untuk PM ₁₀)	1

Namun demikian, khusus di Surabaya, dari 7 stasiun pemantau yang dipasang, hanya tiga (3) yang beroperasi saat ini. Dua stasiun pemantau ini adalah stasiun yang baru dipasang 3 tahun yang lalu. Kondisi empat (4) stasiun pemantau lainnya masih dalam keadaan rusak dan belum beroperasi dengan baik dikarenakan mahal biaya pemeliharaan (*personal communication*). Bahkan data dari lima (stasiun) ini sudah mulai tidak lengkap mulai tahun 2003 hingga 2009.

Permasalahan rusaknya stasiun pemantau di atas terjadi hampir di seluruh kota di Indonesia, termasuk DKI Jakarta. Masalah anggaran menjadi kendala utama. Secara khusus di Surabaya, anggaran pemeliharaan menjadi mahal karena sistem pemantauannya dikunci oleh vendor yang memasang stasiun

tersebut. Ketika terjadi kerusakan atau perlunya pemeliharaan, Pemerintah Kota Surabaya harus mendatangkan tidak hanya tim ahli namun juga suku cadang dari negara vendor tersebut. Hal itu menyebabkan biaya pemeliharaan menjadi mahal, terlebih-lebih tim dari Pemerintah Kota Surabaya tidak diberi hak untuk memperbaiki sistem secara mandiri, semua menjadi tergantung vendor.

Situasi semacam ini terjadi hampir di seluruh daerah yang memiliki stasiun pemantau. Alternatifnya adalah mencari dan mengganti stasiun pemantau dengan produk lain yang lebih murah dan terjangkau, terlebih lagi produk sistem pemantau secara permanen cukup banyak ditawarkan. Namun demikian, produk-produk tersebut diproduksi dan dimiliki oleh vendor dari luar negeri dimana jika kondisi di atas terjadi, maka pemeliharaan dan penggantian suku cadang akan tetap bergantung pada vendor tersebut. Untuk itulah, kami memandang perlu adanya stasiun pemantau yang dihasilkan dan diproduksi secara mandiri di dalam negeri.

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu chip microcomputer. Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang spesifik. Kadangkala pada mikrokontroler ini beberapa chip digabungkan dalam satu papan rangkaian. Perangkat ini sangat ideal untuk mengerjakan sesuatu yang bersifat khusus, sehingga aplikasi yang diisikan kedalam komputer ini adalah aplikasi yang bersifat *dedicated* (Chamim, 2010).

Mikrokontroler akan bisa berfungsi apabila ada *software* atau bahasa pemrograman yang ditanam ke dalamnya. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C. Sensor yang digunakan adalah sensor MQ-135. Sensor MQ-135 dapat mengukur CO₂, asap, alkohol, benzene, NH₃ dan NO_x (Isnaini, 2015).

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega16 dengan sensor MQ-135 untuk mendeteksi NO_x yang dapat dilihat pada gambar 1.1 dibawah ini. Data yang didapatkan akan dilanjutkan ke *website* dengan rentang waktu tertentu selain itu

dapat dilihat dan diunduh secara berkala. Sensor MQ-135 akan mendeteksi gas NO_x dengan output data dalam bentuk tegangan atau miliVolt, sedangkan satuan yang umum digunakan untuk suatu gas adalah ppm atau ppb. Oleh sebab itu alat pendeteksi NO_x harus dikalibrasi dahulu. Dari hasil kalibrasi didapatkan suatu persamaan yang nantinya akan diaplikasikan untuk memantau gas NO_x .



Gambar 1. 1 Alat Pemantau Konsentrasi NO_x Berbasis Mikrokontroler

Stasiun pemantau memiliki fungsi yang sangat penting sebagai sarana untuk melihat apakah kualitas udara masih dalam taraf yang tidak membahayakan bagi manusia, hewan dan ekosistem. Jika kualitas udara melebihi baku mutu, yang mana dapat membahayakan dan menyebabkan dampak negatif bagi kesehatan, maka perlu ada tindakan nyata baik dari pemangku kebijakan maupun dari masyarakat. Di Kota Surabaya, dominasi pencemaran adalah dari kendaraan karena pertumbuhannya yang cukup besar setiap tahunnya. Oleh karena itu, perlu adanya evaluasi kualitas udara pada kurun waktu tertentu yaitu dengan cara membandingkan konsentrasi udara dengan baku mutu yang ada.

Selain itu, hasil pemantauan kualitas udara juga ditampilkan kepada masyarakat dalam bentuk Indeks Kualitas Pencemar Udara (ISPU). Angka ini menunjukkan indikasi status konsentrasi udara. Namun demikian angka ini adalah angka yang

dihasilkan dari sebuah persamaan dimana salah satu parameternya adalah konsentrasi. Sejauh yang penulis amati, belum ada hingga saat ini evaluasi perbandingan konsentrasi harian kualitas udara ambien dengan baku mutu selama lima (5) tahun terakhir.

Konsentrasi udara mengikuti pola tertentu mengikut pada pola sumber pencemarannya. Kualitas udara NO_2 misalnya, mengikuti bentuk *bimodal* seperti halnya kendaraan. Artinya, ada waktu-waktu puncak setiap harinya dimana konsentrasi kualitas udara ambien paling tinggi pada hari itu. Bisa jadi rata-rata harian konsentrasi kualitas udara ambien pada waktu puncak melebihi baku mutu yang ada sehingga perlu adanya penanganan lebih lanjut. Studi semacam itu juga belum pernah dilakukan hingga saat ini.

Beberapa kebijakan telah dilaksanakan oleh pemerintah Kota Surabaya untuk memperbaiki kualitas udara ambien, salah satunya adalah dengan mengadakan *car free day (CFD)* setiap hari minggu yang dilakukan di titik-titik tertentu. Menurut Boediningsih (2011) kebijakan yang dapat dilakukan pemerintah Kota Surabaya adalah dengan melakukan tes uji emisi, dengan menerapkan sistem 3 in 1 (*three in one*) bagi setiap mobil yang melewati jalan yang memiliki kepadatan yang tinggi atau pun disaat jam jam sibuk. Penelitian akan mengevaluasi sejauh mana program CFD memberikan pengaruh positif bagi kualitas udara ambien perkotaan.

Data dari stasiun pemantau (SUF) terdiri dari parameter CO, NO, NO_2 , NO_x , O_3 , SO_2 dan PM_{10} . Sedangkan data pendukung lainnya adalah arah angin, kecepatan angin, kelembaban, radiasi matahari dan temperatur. Penelitian ini akan menganalisa karakteristik kualitas udara ambien dengan parameter NO, NO_2 dan O_3 dengan menentukan pola konsentrasinya.

1.2 Rumusan Masalah

Alat pemantau NO_x yang digunakan memakai mikrokontroler ATmega 16 dengan sensor MQ-135. Output dari alat tersebut adalah satuan tegangan atau volt sehingga

dibutuhkan suatu kalibrasi. Dari kalibrasi tersebut dicari apa persamaan yang dihasilkan dari kalibrasi alat pemantau melalui metode *colocation* di stasiun pemantau udara (SUF) 1, Taman Prestasi di Surabaya. Hasil persamaan diimplementasikan untuk pengukuran pada lokasi *car free day* di Jalan Darmo.

Data dari 2 (dua) Stasiun Pemantau udara yaitu stasiun pemantau udara 6 (enam) dan 7 (tujuh) pada tahun 2014-2016 dan data dari 1 (satu) Stasiun pemantau udara yaitu stasiun pemantau udara 1 (satu) pada tahun 2012 - 2016 dilakukan analisa untuk dicari bentuk pola konsentrasi NO, NO₂ dan O₃ secara *diurnal* dan dicari waktu puncaknya. Perbedaan tahun pengambilan data mengikuti ketersediaan data yang ada. Data-data yang didapatkan setiap konsentrasi juga dilakukan evaluasi terhadap baku mutu PP No 41 Tahun 1999 dan dicari apakah penyebabnya jika ada perbedaan terhadap baku mutu.

Rumusan masalah yang ketiga adalah bagaimana pengaruh kebijakan pemerintah yaitu *car free day* dalam memperbaiki kualitas udara ambien, serta pengaruh akhir pekan serta libur panjang dan meteorologi (suhu, kelembapan, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari) terhadap konsentrasi NO, NO₂ dan O₃.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengkalibrasi alat pemantau udara berbasis mikrokontroler dengan metode *co-location* di lokasi stasiun pemantau udara (SUF) 1, Taman Prestasi dan mengimplementasikan persamaan pada lokasi *car free day* di Jalan Darmo.
2. Menentukan pola harian (*diurnal pattern*) konsentrasi pencemar dari kendaraan yaitu NO, NO₂, O₃ dari stasiun pemantau udara SUF 1, SUF 6 dan SUF 7 serta menentukan waktu puncaknya.
3. Mengevaluasi konsentrasi NO, NO_x, O₃ stasiun pemantau udara berdasarkan baku mutu udara ambien di Propinsi Jawa Timur dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia.

4. Menentukan pengaruh meteorologi, *car freeday*, akhir pekan serta libur panjang terhadap konsentrasi pencemar udara NO, NO₂, O₃.

1.4 Ruang Lingkup

1. Kalibrasi alat pemantau dengan *colocation* di stasiun pemantau udara (SUF) 1 Taman Prestasi Surabaya.
2. Parameter yang digunakan dalam kalibrasi alat adalah NO_x dengan sensor MQ-135
3. Lokasi untuk implementasi persamaan alat pemantau udara adalah *car free day* di Jalan Darmo.
4. Stasiun Pemantau Udara yang akan digunakan dalam analisa pola konsentrasi dan evaluasinya
 - Stasiun pemantau udara (SUF) 1 di Taman Prestasi
 - Stasiun pemantau udara (SUF) 6 di Wonorejo
 - Stasiun pemantau udara (SUF) 7 di Kebonsari
5. Parameter untuk setiap stasiun pemantau udara adalah NO, NO₂, dan O₃
6. Data meteorologi untuk setiap stasiun pemantau udara adalah suhu, kelembapan, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari
7. Karena ketersediaan data, maka data yang digunakan adalah tahun 2012-2016 untuk SUF 1 dan tahun 2014-2016 untuk SUF 6 dan 7.

1.5 Manfaat

Manfaat dari perencanaan ini adalah

1. Mendapatkan persamaan untuk alat pemantau udara berbasis mikrokontroller dengan sensor MQ-135 sehingga diketahui performa dari mikrokontroler tersebut. Apabila performanya bagus maka dapat di jadikan sebagai stasiun pemantau udara yang ada saat ini, namun jika performanya kurang bagus maka dapat dijadikan bahan evaluasi untuk alat serupa selanjutnya.
2. Mengetahui pola harian (*diurnal pattern*) konsentrasi NO, NO₂ dan O₃ pada stasiun pemantau udara (SUF) 1 (satu), 6 (enam) dan 7 (tujuh). Dengan mengetahui pola harian rata-rata, kita dapat melihat waktu puncak rata-rata di Kota

Surabaya yang mana informasi ini bisa menjadi landasan kebijakan pengendalian pencemaran udara di Kota Surabaya, misal pengaturan jam dimana kendaraan besar dapat melintas, pengaturan lalu lintas dan jam kerja atau jam sekolah.

3. Mengetahui kondisi konsentrasi NO, NO_x dan O₃ terhadap baku mutu Pergub Jatim No 10 Tahun 2009 dan PP no 41 tahun 1999 yang mana jika informasi ini didapat, kesadaran Pemerintah Kota Surabaya atas pentingnya pemantauan kualitas udara dapat ditingkatkan, antara lain minimal dengan penambahan stasiun pemantau atau menjalankan kebijakan lingkungan untuk memperbaiki kualitas udara.
4. Mengetahui pengaruh meteorologi (suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin, serta radiasi matahari), *car freeday*, libur panjang dan akhir pekan pada konsentrasi udara NO, NO₂ dan O₃. Jika program *car free day* secara efektif menurunkan konsentrasi pencemar udara, maka program ini dapat dijalankan pada jalan-jalan lain di Surabaya. Selain itu, pengaruh libur panjang terhadap kualitas udara ambien dapat dijadikan informasi bagi Pemerintah Surabaya dalam program pengendaliaannya, misal jika diketahui ternyata libur panjang justru meningkatkan konsentrasi pencemar akibat tingginya volume kendaraan, maka informasi ini dapat digunakan pemerintah untuk segera menindaklanjuti program transportasi yang telah didesain sedemikian rupa yang berbasis pada transportasi massal. Informasi kualitas udara juga dapat ditunjukkan kepada pemerintah pusat agar segera memberikan fasilitas dana dalam pembangunan transportasi terintegrasi di Surabaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara

2.1.1 Pengertian Udara

Udara menurut Oktora (2008) adalah kumpulan gas, yang terbanyak adalah nitrogen dan oksigen. Oksigen sangat penting untuk mendukung kehidupan makhluk hidup dan memungkinkan terjadinya pembakaran bahan bakar. Komposisi udara bersih sangat bervariasi dari satu tempat dengan tempat yang lain di seluruh dunia. Rata-rata persentase (per volume) gas dalam udara bersih dan kering yaitu nitrogen 78%, oksigen 20,8%, argon 0,9%, karbondioksida 0,03% dan gas lainnya 0,27%.

Menurut Kastiyowati (2001) udara dikatakan “normal” dan dapat mendukung kehidupan manusia apabila komposisinya seperti tersebut diatas. Oksigen merupakan komponen dari udara yang sangat penting bagi kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Apabila terjadi penambahan gas-gas lain yang menimbulkan gangguan serta perubahan komposisi tersebut, maka udara sudah tercemar/terpolusi.

Udara merupakan campuran dari beberapa gas dengan perbandingan yang tidak tetap. Hal tersebut disebabkan beberapa faktor yaitu kondisi suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Udara juga merupakan atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang dibutuhkan oleh proses kehidupan di bumi. Dalam udara terdapat oksigen (O_2) untuk makhluk hidup bernafas, karbondioksida (CO_2) untuk proses fotosintesa oleh klorofil pada tumbuhan dan ozon (O_3) yang berfungsi menahan sinar ultraviolet (Wardhana, 2004).

2.1.2 Pengertian Pencemaran Udara

Pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam

udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak memenuhi fungsinya.

Pencemaran udara adalah suatu kondisi dimana kualitas udara menjadi rusak dan terkontaminasi oleh zat-zat, baik yang tidak berbahaya maupun yang membahayakan kesehatan tubuh manusia. Pencemaran udara biasanya terjadi di kota-kota besar dan juga daerah padat industri yang menghasilkan gas-gas yang mengandung zat di atas batas kewajaran (Oktora, 2008).

“Pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrat fisik atau kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai sejumlah tertentu, sehingga dapat di deteksi oleh manusia (atau dapat dihitung dan diukur) serta dapat memberikan efel pada manusia, binatang, vegetasi dan material” (Chambers da Masters dalam Mukono, 2006).

Menurut Wardhana (2004) pencemaran udara diartikan sebagai masuknya zat-zat atau bahan-bahan asing di dalam udara yang menyebabkan udara tidak lagi dalam kondisi normal atau kondisi semula.

Pencemaran udara adalah masuknya komponen lain ke dalam udara, baik oleh kegiatan manusia secara langsung atau tidak langsung akibat proses alam sehingga kualitas udara menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak bisa berfungsi lagi sesuai peruntukannya (Chandra, 2006).

2.1.3 Penyebab Pencemaran Udara

Menurut Sugiarti (2009), secara umum penyebab terjadinya pencemaran udara terdapat 2 macam, yaitu :

- a. Faktor internal (faktor alamiah), misalnya :
 1. Debu di udara karena tiupan angin.
 2. Debu akibat bencana alam seperti meletusnya gunung berapi.
 3. Proses pembusukan sampah organik.
- b. Faktor eksternal (aktivitas manusia), misalnya :
 1. Hasil pembakaran bahan bakar fosil.

2. Debu dari kegiatan industri.
3. Pemakaian zat kimia yang disemprotkan ke udara.

2.1.4 Klasifikasi Jenis Polutan Udara

Menurut Kastiyowati (2001) jenis-jenis pencemaran udara adalah sebagai berikut:

- Menurut bentuk : Gas, partikel
- Menurut tempat : Ruangan (indoor), udara bebas (outdoor)
- Gangguan kesehatan : *Iritansia, asfiksia, anetesia, toksis*
- Menurut asal : Primer, sekunder

Mukono (2006) mengklasifikasikan jenis polutan atas 2 bagian, yaitu :

a. Polutan Primer

Polutan primer adalah polutan yang langsung dikeluarkan oleh sumber tertentu seperti :

- Senyawa karbon yaitu hidrokarbon, hidrokarbon teroksigenasi, dan karbon oksida.
- Senyawa sulfur yaitu sulfur oksida.
- Senyawa nitrogen yaitu nitrogen oksida dan amoniak.
- Senyawa halogen yaitu fluor, klorin, hidrogenklorida, hidrogen terklorinasi dan bromin
- Partikel

Partikel yang berada di atmosfer mempunyai karakteristik yang spesifik, dapat berupa zat padat atau suspensi aerosol cair. Bahan partikel tersebut dapat berasal dari kondensasi, proses disperse maupun erosi oleh bahan tertentu. Sedangkan asap seringkali dipakai untuk menunjukkan campuran dari bahan partikulat, uap, gas dan kabut.

b. Polutan Sekunder

Polutan sekunder dimaksudkan kepada polutan yang terbentuk dari reaksi dua bahan kimia atau lebih di udara, misalnya reaksi fotokimia. Contohnya disosiasi NO_2 yang menghasilkan NO dan O radikal. Polutan sekunder memiliki sifat fisik dan sifat kimia yang tidak stabil. Proses kecepatan dan arah reaksi dipengaruhi oleh :

- Konsentrasi relative dari bahan reaktan.
- Derajat fotoaktivasi.
- Kondisi iklim.
- Topografi lokal dan adanya embun.

Menurut Chandra (2006), jenis polutan dapat dibagi berdasarkan struktur kimia dan penampang partikelnya, yaitu :

- a. Struktur kimia :
 - Partikel : debu, abu, dan logam seperti timbal, nikel, cadmium dan berilium.
 - Gas anorganik seperti NO, CO, SO₂, amonia dan hydrogen.
 - Gas organik seperti hidrokarbon, benzene, etilen, asetilen, aldehid, keton, alkohol, dan asam-asam organik.
- b. Penampang partikel
Partikel udara dapat melekat pada saluran pernapasan manusia sehingga berdampak kepada kesehatan.

2.1.5 Sumber Pencemar Udara

Menurut BLH Provinsi DKI Jakarta (2013) sumber pencemar udara mengacu pada berbagai lokasi atau aktivitas yang bertanggung jawab atas lepasnya polutan ke atmosfer. Klasifikasi sumber pencemaran udara yaitu :

- a. Sumber alam atau biogenik yaitu polutan lepas ke udara karena proses alam yang terjadi (tanpa adanya ulah manusia) seperti meletusnya gunung berapi, kebakaran hutan yang disebabkan oleh petir, badai debu dan lain-lain.
- b. Sumber antropogenik dibagi menjadi dua, yaitu :
 - Sumber tidak bergerak terbagi atas sumber titik dan sumber area.
Sumber titik adalah polutan udara bersumber pada titik tetap seperti cerobong asap, tangki penyimpanan dan pembakaran di tempat pembuangan akhir sampah (TPA). Sedangkan sumber area adalah serangkaian sumber-sumber kecil pada suatu area yang bersama-sama dapat menghasilkan polutan udara seperti

pembakaran bahan bakar di rumah tangga, kebakaran hutan, kegiatan konstruksi dan jalan tanpa aspal.

- Sumber bergerak dimaksudkan kepada benda yang bergerak dan melepaskan polutan ke udara, terbagi atas yang bergerak di jalan dan yang bukan bergerak di jalan. Sumber yang bergerak di jalan seperti mobil, sepeda motor dan becak motor. Sedangkan sumber yang bukan bergerak di jalan seperti kapal laut, pesawat udara dan traktor.

Menurut Chandra (2006) sumber pencemaran udara terbagi atas dua, yaitu:

- a. Sumber pencemaran yang berasal dari kegiatan alam. Contohnya seperti kebakaran hutan, kegiatan gunung berapi dan lainnya
- b. Sumber pencemaran buatan manusia (dari aktivitas manusia). Contoh :
 - Sisa pembakaran bahan bakar minyak oleh kendaraan bermotor seperti gas CO, CO₂, NO, karbon, hidrokarbon, aldehid dan timbal
 - Limbah industri kimia, metalurgi, tambang, pupuk dan minyak bumi.
 - Sisa pembakaran dari gas alam, batubara dan minyak seperti asap, debu dan sulfur oksida.
 - Sisa dari kegiatan lainnya seperti pertanian, hutan, sampah dan limbah reaktor nuklir.

Sedangkan menurut Vallero (2008) sumber pencemar udara dibagi menjadi 2, yaitu :

- a. Sumber alam

Sumber yang tidak disebabkan oleh kegiatan manusia.

 1. Erupsi gunung berapi yang mengeluarkan emisi partikel dan gas polutan (SO₂, H₂S dan metan).
 2. Kebakaran pada hutan dan padang rumput biasanya diklasifikasikan sebagai sumber alami meskipun mereka mungkin telah awalnya dinyalakan oleh aktivitas manusia. Api dari kebakaran hutan mengeluarkan emisi polutan dalam bentuk asap, hidrokarbon, karbon monoksida, karbon dioksida, nitrogen oksida dan abu.

3. Badai debu merupakan sumber alami yang mengeluarkan emisi partikul dalam jumlah besar. Bahkan badai yang relatif kecil menimbulkan kandungan partikulat dua kali atau lebih di atas kualitas udara ambien.
4. Lautan juga merupakan sumber alami pencemar. Laut terus memancarkan aerosol ke atmosfer dalam bentuk partikel garam yang merusak logam dan cat. Gelombang juga membuat batuan menjadi pasir yang akhirnya dapat menjadi udara.
5. Sumber alami yang memiliki luasan paling luas adalah pepohonan yang ada di bumi. Meskipun tanaman ini memiliki peranan yang besar dalam konversi karbon dioksida menjadi oksigen melalui fotosintesis, tanaman merupakan sumber utama hidrokarbon di bumi ini. *Blue haze* sering muncul di sekitar hutan, hal ini dikarenakan terjadi reaksi antara organik volatil yang dilepaskan pepohonan dengan atmosfer.
6. Gas belerang dari mata air panas juga termasuk dalam kategori sumber alam karena mengeluarkan bau yang sangat menyengat.

b. Sumber Buatan (*Antropogenic*)

1. Sumber Industri

Industri yang paling banyak mengeluarkan polusi adalah industri manufaktur dari bahan baku contohnya adalah iron dan steel dari ore. Industri yang juga mengeluarkan emisi adalah industri yang merubah suatu produk menjadi produk lain contohnya badan mobil dari steel.

2. Utilitas

Utilitas di masyarakat modern sangat banyak. Sebuah pembangkit listrik menghasilkan panas dan cahaya untuk rumah. Selain itu pembangkit listrik juga memberikan daya untuk komputer pribadi, televisi, kulkas dan pengisian baterai untuk laptop, ponsel dan lain-lain. Utilitas dalam bisnis mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Jika pembangkit uap besar, memproduksi 2000MW, membakar satu juta kilogram per

jam dari 4% abu batubara, harus membuang 40.000 kg abu per jam. Beberapa akan dihilangkan dari *furnace* dengan sistem *ash-handling*, tetapi beberapa akan naik bersama gas buang. Jika 50% dari abu memasuki stack dan efisiensi sistem pengumpulan *fly ash* adalah 99%, maka 200 kg abu per jam akan dipancarkan ke atmosfer.

3. Sumber personal

Pelepasan energi dan emisi polusi udara dari sumber personal lebih besar dari sumber industri dan utilitas. Contoh dari sumber personal adalah mobil, pembakaran untuk sampah kebun dan lain-lain.

2.1.6 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara

Pencemaran udara yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

a. Meteorologi dan Iklim

1. Temperatur

Pergerakan mendadak lapisan udara dingin ke suatu kawasan industri dapat menimbulkan inversi atmosfer, yaitu kondisi dimana udara dingin akan terperangkap dan tidak dapat keluar dari kawasan tersebut dan akan menahan polutan tetap berada di permukaan bumi sehingga konsentrasinya semakin lama semakin meningkat. Pada keadaan tersebut, di permukaan bumi dapat dikatakan tidak ada pertukaran udara sama sekali. Kondisi tersebut dapat bertahan hingga beberapa hari atau beberapa minggu, maka udara yang berada dekat dengan permukaan bumi akan penuh akan polutan sehingga dapat menimbulkan keadaan yang kritis bagi kesehatan.

2. Arah dan kecepatan angin

Kecepatan angin yang kuat dapat membawa polutan kemanapun sesuai arahnya sehingga dapat mencemari daerah lain pada jarak yang jauh. Sebaliknya, kecepatan angin yang lemah polutan akan menetap dan semakin bertambah di kawasan sumber pencemarnya.

3. Hujan

Air hujan sebagai pelarut umum akan melarutkan bahan polutan yang terdapat di udara. Kawasan industri yang menggunakan batubara akan menghasilkan gas sulfur dioksida dan apabila gas tersebut bercampur dengan air hujan akan terbentuk asam sulfat sehingga air hujan bersifat asam yang biasa dikenal dengan hujan asam.

b. Topografi

1. Dataran rendah

Di dataran rendah, angin cenderung membawa polutan terbang ke seluruh penjuru daerahnya dan dapat melewati batas negara dan mencemari udara di negara lain.

2. Dataran tinggi

Di dataran tinggi sering terjadi inversi atmosfer sehingga polutan hanya berada di kawasan tersebut. Sehingga tetap menahan polutan berada di permukaan bumi.

3. Lembah

Di daerah lembah, aliran angin sedikit sekali dan tidak bertiup ke segala arah. Keadaan ini akan menahan polutan yang ada di permukaan bumi (Chandra, 2006).

2.1.7 Efek Pencemaran Udara

Efek bahan pencemar udara terhadap lingkungan menurut Mukono (2006) adalah :

a. Efek terhadap kondisi fisik atmosfer

Dampak yang diakibatkan polutan udara terhadap kondisi fisik atmosfer adalah :

1. Gangguan jarak pandang
2. Memberikan warna tertentu terhadap atmosfer
3. Mempengaruhi struktur awan
4. Mempengaruhi keasaman air hujan
5. Mempercepat pemanasan atmosfer

b. Efek terhadap faktor ekonomi

Bahan pencemar udara juga berdampak terhadap faktor ekonomi seperti :

1. Meningkatkan biaya rehabilitasi karena rusaknya bahan (keropos).

2. Meningkatnya biaya pemeliharaan (pelapisan, pengecatan).
 3. Kerugian akibat kontaminasi bahan pencemar udara pada makanan atau minuman oleh bahan beracun.
 4. Meningkatnya biaya perawatan penyakit yang disebabkan oleh pencemaran udara.
- c. Efek terhadap vegetasi
1. Perubahan morfologi, pigmen, dan kerusakan fisiologi sel tumbuhan terutama pada daun.
 2. Mempengaruhi pertumbuhan vegetasi.
 3. Mempengaruhi proses reproduksi tanaman.
 4. Mempengaruhi komposisi komunitas tanaman.
 5. Terjadi akumulasi bahan pencemar pada tanaman tertentu.
- d. Efek terhadap kehidupan binatang
- Efek dapat terjadi pada binatang peliharaan atau binatang liar dengan terjadinya proses bioakumulasi dan keracunan bahan berbahaya.
- e. Efek estetika
- Efek estetika yang diakibatkan oleh adanya bahan pencemar udara antara lain adanya bau dan adanya lapisan debu pada bahan atau materi yang mengakibatkan perubahan warna permukaan bahan dan kerusakan pada bahan tersebut.
- f. Efek terhadap kesehatan manusia pada umumnya
- Secara umum, efek kesehatan yang ditimbulkan oleh bahan pencemar udara adalah :
1. Sakit akut maupun kronis.
 2. Penyakit yang tersembunyi, memperpendek umur, menghambat pertumbuhan dan perkembangan.
 3. Mengganggu fungsi fisiologis paru-paru, saraf, darah dan kemampuan sensorik.
 4. Kemunduran penampilan pada aktivitas atlet, aktivitas motorik dan aktivitas belajar.
 5. Iritasi sensorik.
 6. Penimbunan bahan berbahaya dalam tubuh.
 7. Rasa tidak nyaman oleh bau.
 8. Efek terhadap saluran pernafasan

- Iritasi pada saluran pernafasan sehingga menyebabkan pergerakan silia menjadi lambat, bahkan dapat berhenti sehingga tidak membersihkan saluran pernafasan.
- Peningkatan produksi lendir akibat iritasi oleh bahan pencemar.
- Produksi lendir mengakibatkan penyempitan saluran pernafasan.
- Rusaknya sel pembunuh bakteri di saluran pernafasan.
- Pembengkakan saluran pernafasan dan merangsang pertumbuhan sel sehingga saluran pernafasan semakin sempit.
- Lepasnya silia dan lapisan sel selaput lendir.
- Dari semua efek di atas, akan mengakibatkan terjadinya kesulitan bernafas, sehingga benda asing yang masuk tidak dapat dikeluarkan sehingga terjadinya infeksi saluran pernafasan.

Menurut Chandra (2006) efek pencemaran udara terbagi atas :

- a. Efek umum
 1. Meningkatkan angka kesakitan dan kematian pada makhluk hidup.
 2. Mempengaruhi kuantitas dan kualitas matahari yang sampai ke permukaan bumi sehingga mempengaruhi proses fotosintesis pada tumbuhan.
 3. Mempengaruhi dan mengubah iklim akibat terjadinya peningkatan kadar CO₂ di udara. Kondisi ini akan menahan panas tetap berada dibawah atmosfer sehingga terjadi efek rumah kaca (*green house effect*).
 4. Pencemaran udara dapat merusak materi yang terbuat dari logam.
 5. Meningkatkan biaya perawatan properti bangunan.
 6. Mengganggu penglihatan yang dapat berakibat pada meningkatnya angka kasus kecelakaan transportasi.
 7. Menyebabkan warna kain dan pakaian buram dan bernoda.
- b. Efek terhadap ekosistem

Industri yang menggunakan batu bara sebagai sumber energi akan melepaskan zat sulfur oksida ke udara sebagai

sisanya pembakarannya. Zat tersebut akan bereaksi dengan air hujan dan membentuk asam sulfat sehingga air hujan bersifat asam. Apabila kondisi ini berlangsung dalam waktu yang lama, akan terjadi perubahan pada ekosistem perairan danau dan kehidupan di daratan.

c. Efek terhadap kesehatan

1. Efek cepat

Hasil studi epidemiologi menunjukkan bahwa peningkatan mendadak kasus pencemaran udara juga akan meningkatkan angka kesakitan dan kematian akibat penyakit saluran pernapasan.

2. Efek lambat

Pencemaran udara diduga sebagai salah satu penyebab penyakit bronchitis kronis dan kanker paru-paru primer. Penyakit lain yang disebabkan oleh pencemaran udara adalah emfisema paru, *black lung disease*, asbestosis, silikosis, bisinosis, penyakit asma dan eksema pada anak.

d. Efek terhadap tumbuhan dan hewan

Tumbuh-tumbuhan bersifat sensitif terhadap gas-gas pencemar udara. Apabila terjadi pencemaran udara, konsentrasi gas polutan akan meningkat sehingga menyebabkan daun tumbuhan berlubang dan layu. Ternak juga akan sakit jika memakan tumbuh-tumbuhan yang tercemar gas florin.

e. Efek terhadap cuaca dan iklim

Gas karbon dioksida memiliki sifat menahan panas tetap pada lapisan bawah atmosfer sehingga terjadi efek rumah kaca (*green house effect*).

f. Efek terhadap sosial dan ekonomi

Pencemaran udara mengakibatkan bertambahnya biaya perawatan properti bangunan karena rusak dan pemeliharannya akibat pencemaran udara. Selain itu pencemaran udara juga memberi dampak kerugian akibat kontaminasi polutan udara pada bahan makanan dan

minuman, juga mengeluarkan biaya ekstra untuk mengendalikan pencemaran udara yang terjadi.

2.1.8 Pengendalian Pencemaran Udara

Menurut PP RI NO 41 Tahun 1999 Pengendalian pencemaran udara meliputi pencegahan dan penanggulangan pencemaran, serta pemulihan mutu udara dengan melakukan inventarisasi mutu udara ambien, pencegahan sumber pencemar, baik dari sumber bergerak maupun sumber tidak bergerak termasuk sumber gangguan serta penanggulangan keadaan darurat.

Pencegahan pencemaran udara meliputi upaya-upaya untuk mencegah terjadinya pencemaran udara dengan cara :

- a. penetapan baku mutu udara ambien, baku mutu emisi sumber tidak bergerak, baku tingkat gangguan, ambang batas emisi gas buang dan kebisingan kendaraan bermotor
- b. penetapan kebijaksanaan pengendalian pencemaran udara

Penanggulangan pencemaran udara sumber tidak bergerak meliputi pengawasan terhadap penataan baku mutu emisi yang telah ditetapkan, pemantauan emisi yang keluar dari kegiatan dan mutu udara ambien di sekitar lokasi kegiatan, dan pemeriksaan penataan terhadap ketentuan persyaratan teknis pengendalian pencemaran udara.

Penanggulangan pencemaran udara dari sumber bergerak meliputi pengawasan terhadap penataan ambang batas emisi gas buang, pemeriksaan emisi gas buang untuk kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor lama, pemantauan mutu udara ambien di sekitar jalan, pemeriksaan emisi gas buang kendaraan bermotor di jalan dan pengadaan bahan bakar minyak bebas timah hitam serta solar berkadar belerang rendah sesuai standar internasional.

Penanggulangan pencemaran udara dari kegiatan sumber gangguan meliputi pengawasan terhadap penataan baku tingkat gangguan, pemantauan gangguan yang keluar dari kegiatannya dan pemeriksaan penataan terhadap ketentuan persyaratan teknis pengendalian pencemaran udara.

2.2 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Nitrogen dioksida merupakan salah komponen yang mempengaruhi terhadap kualitas udara. Nitrogen dioksida (NO₂) juga merupakan salah satu gas beracun. Sumber pencemar NO₂ aktivitas kendaraan bermotor, industri maupun rumah tangga. Hal ini telah diteliti oleh Wijayanti (2012) bahwa tingginya konsentrasi NO₂ berbanding lurus dengan banyaknya jumlah kendaraan bermotor, industri dan rumah tangga. NO₂ merupakan hasil reaksi dari NO yang terpapar oleh sinar matahari yang memancarkan sinar ultraviolet.

Baku mutu yang digunakan untuk parameter NO₂ adalah PP no 41 tahun 1999. Pada lampiran Peraturan Pemerintah tersebut terdapat ambang batas yang harus dipenuhi. Ambang batas untuk parameter NO₂ dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Baku Mutu Parameter NO₂

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
Nitrogen dioksida (NO ₂)	1 Jam	400 µg/Nm ³
	24 Jam	150 µg/Nm ³
	1 Tahun	100 µg/Nm ³

Sumber : PP Nomor 41 tahun 1999

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi konsentrasi NO₂ yaitu mengurangi beban pencemar NO₂ dengan cara menyediakan transportasi massal yang memadai dan mengembangkan kendaraan bermotor yang berbahan bakar ramah lingkungan. Selain itu dari sektor industri dapat dilakukan memperbaiki kualitas emisi gas buang industri dengan menggunakan teknologi seperti penggunaan *wet scrubber*, penggantian bahan bakar (Martono dan Sulistiyani, 2004).

2.3 Nitrogen Oksida (NO_x)

2.3.1 Sumber Pencemar Gas NO_x

Senyawa nitrogen juga terbentuk selama pembakaran, namun sumber nitrogen berbeda dengan senyawa sulfur. Bahkan, atmosfer adalah sumber nitrogen terbesar yang

mengarah ke pembentukan Nitrogen Oksida (NO_x). Molekul Nitrogen (N_2) merupakan gas terbesar di bumi (79% berdasarkan volume). Karena N_2 tidak reaktif dalam kondisi atmosfer maka jarang masuk ke dalam reaksi kimia. Namun saat dibawah tekanan dan suhu sangat tinggi akan bereaksi dengan Oksigen (O_2).

Kira-kira, 90-95% dari nitrogen oksida yang dihasilkan dalam proses pembakaran adalah dalam bentuk Oksida nitrat (NO), oksida nitrogen lainnya dapat terbentuk, terutama Nitrogen dioksida (NO_2). Sehingga para ahli polusi udara merujuk untuk NO dan NO_2 sebagai NO_x . Kondisi suhu tinggi atau tekanan tinggi ada dalam mesin pembakaran internal seperti yang ada di kendaraan bermotor. Dengan demikian, NO_x adalah salah satu polutan udara sumber kendaraan bermotor. Kondisi suhu dan tekanan tinggi juga ada dalam boiler seperti pembangkit listrik sehingga NO_x juga bisa ditemukan di stasiun pembangkit listrik.

Selain nitrogen atmosfer, sumber lainnya adalah bahan bakar fosil. Karena NO_x akan terbentuk saat nitrogen atmosfer terkena suhu tinggi yaitu di dekat api burner di ruang pembakaran. Sumber NO_x lainnya adalah pabrik pengolahan asam nitrat dan jenis lain karena proses industri yang melibatkan generasi dan atau penggunaan asam nitrat (HNO_3) (Vallero, 2008)

Menurut Ling (2016) NO_x dapat dihasilkan juga oleh boiler. Setiap boiler menghasilkan NO_x yang berbeda-beda. Pada jurnal tersebut dilakukan penelitian NO_x yang dihasilkan terhadap 3 boiler dengan daya yang berbeda. NO_x yang dihasilkan oleh boiler dengan daya 350 MW, 300 MW dan 600 MW adalah 1682 mg/m^3 , 1189 mg/m^3 dan 1467 mg/m^3 .

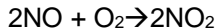
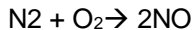
Sumber pencemar gas NO_x lainnya adalah pembakaran pada mesin diesel tambahan. Emisi NO_x bertambah secara signifikan berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan mesin dan torsi. Peningkatan emisi NO berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan mesin dan torsi, namun emisi NO_2 mengalami penurunan. Sementara itu rasio NO dan NO_2 adalah 1:1 ketika mesin beroperasi pada kecepatan rendah, namun rasio secara signifikan bertambah dengan bertambahnya kecepatan

mesin dan torsi karena kenaikan temperatur silinder dalam pembakaran difusi (Geng, 2016).

2.3.2 Pembentukan Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen oksida (NO_x) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas nitrik (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). Walaupun bentuk nitrogen oksida lainnya ada, tetapi kedua gas ini yang paling banyak ditemui sebagai polutan udara. Nitrik oksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya nitrogen dioksida mempunyai warna coklat kemerahan dan mempunyai bau yang tajam.

Oksida yang lebih rendah, yaitu NO, terdapat di atmosfer dalam jumlah lebih besar daripada NO₂. Pembentukan NO dan NO₂ mencakup reaksi entres nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, kemudian reaksi selanjutnya antara NO dengan lebih banyak oksigen membentuk NO₂. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:



Udara terdiri dari sekitar 80 % volume nitrogen dan 20 % volume oksigen. Pada suhu kamar kedua gas ini hanya sedikit mempunyai kecenderungan untuk bereaksi satu sama lain. Pada suhu yang lebih tinggi (di atas 1210°C) keduanya dapat bereaksi membentuk nitrik oksida dalam jumlah tinggi sehingga mengakibatkan polusi udara. dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai 1210-1765°C dengan adanya udara, oleh karena itu reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dalam proses pembakaran.

Jumlah NO yang terdapat di udara dalam keadaan ekuilibrium dipengaruhi oleh suhu pembakaran, lamanya gas hasil pembakaran terdapat pada suhu tersebut, dan jumlah oksigen berlebih yang tersedia. Semakin tinggi suhu pembakaran, semakin tinggi pula konsentrasi NO pada keadaan ekuilibrium.

2.3.3 Pengaruh Gas Nitrogen Oksida (NO_x) Terhadap Kesehatan

Dampak buruk polusi udara bagi kesehatan manusia tidak dapat dibantah lagi, baik polusi udara yang terjadi di alam bebas (*Outdoor air pollution*) atau pun yang terjadi dalam ruangan (*Indoor air pollution*). Polusi yang terjadi di luar ruangan terjadi karena bahan pencemar yang berasal dari industri, transportasi, sementara polusi yang terjadi di dalam ruangan dapat berasal dari asap rokok, dan gangguan sirkulasi udara.

Ada tiga cara masuknya bahan pencemar udara kedalam tubuh manusia yaitu melalui inhalasi, ingestasi dan penetrasi kulit. Inhalasi adalah masuknya bahan pencemar udara ke tubuh manusia melalui sistem pernafasan. Bahan pencemar ini dapat mengakibatkan gangguan pada paru-paru dan saluran pernafasan, selain itu bahan pencemar ini kemudian masuk dalam peredaran darah dan menimbulkan akibat pada alat tubuh lain.

Bahan pencemar udara yang berdiameter cukup besar tidak jarang masuk ke saluran pencernaan (ingestasi) ketika makan atau minum, seperti juga halnya di paru-paru, maka bahan pencemar yang masuk ke dalam pencernaan dapat menimbulkan efek lokal dan dapat pula menyebar ke seluruh tubuh melalui peredaran darah. Permukaan kulit dapat juga menjadi pintu masuk bahan pencemar dari udara, sebagian besar pencemar hanya menimbulkan akibat buruk pada bagian permukaan kulit seperti dermatitis dan alergi saja. Bahan pencemar NO_x dapat mengiritasi mukosa saluran pernafasan, yang berakibat pada peningkatan insiden penyakit saluran pernafasan kronik yang non spesifik seperti asma dan bronkitis (Budiyo, 2001)

Kedua bentuk Nitrogen Oksida, yaitu NO dan NO₂ sangat berbahaya terhadap manusia. Penelitian aktifitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan bahwa NO₂ empat kali lebih beracun daripada NO. Selama, ini belum pernah dilaporkan terjadinya keracunan NO yang mengakibatkan kematian. Pada konsentrasi yang normal ditemukan di atmosfer, NO tidak mengakibatkan iritasi dan tidak berbahaya, tetapi pada

konsentrasi udara ambient yang normal NO dapat mengalami oksidasi menjadi NO_2 yang lebih beracun.

Mengonsumsi nitrat dengan konsentrasi tinggi, misalnya dalam air minum, dapat menyebabkan penyakit jangka pendek yang serius dan bahkan kematian. Penyakit serius pada bayi karena konversi nitrat menjadi nitrit oleh tubuh, yang dapat mengganggu kapasitas pembawa oksigen darah, yang dikenal sebagai methemoglobinemia. Terutama pada anak kecil, ketika nitrat bersaing dengan melawan molekul oksigen, darah membawa methemoglobin (sebagai lawan hemoglobin yang sehat), sehingga menimbulkan gejala klinis. Pada 15-20% methemoglobin, anak-anak dapat mengalami sesak napas dan kebiruan pada kulit (misalnya sianosis klinis). Pada 20-40% methemoglobin, hipoksia akan dihasilkan. Kondisi akut ini dapat memburuk kesehatan anak selama periode hari, terutama jika sumber air terus digunakan. Jangka panjang, eksposur tinggi untuk nitrat dan nitrit dapat menyebabkan peningkatan produksi ginjal 'urin (diuresis), peningkatan pendarahan limpa (Vallero, 2008).

Gas nitrogen oksida (NO_x) ada dua macam yaitu gas nitrogen monoksida (NO) dan gas nitrogen dioksida (NO_2). Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari udara secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak berwarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO_2 bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya coklat kemerahan.

Sifat racun (toksisitas) gas NO_2 empat kali lebih kuat daripada toksisitas gas NO. Organ tubuh yang paling peka terhadap pencemaran gas NO_2 adalah paru-paru. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO_2 akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat mengakibatkan kematiannya.

Udara yang mengandung gas NO dalam batas normal relatif aman dan tidak berbahaya, kecuali bila gas NO berada dalam konsentrasi tinggi. Konsentrasi gas NO dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem syaraf yang mengakibatkan kejang-kejang. Bila keracunan ini terus berlanjut

akan menyebabkan kelumpuhan. Gas NO akan menjadi lebih berbahaya apabila gas itu teroksidasi oleh oksigen sehingga menjadi gas NO₂. (Wardhana, 2001)

2.3.4 Pengaruh Gas Nitrogen Oksida (NO_x) Terhadap Lingkungan

Adanya NO_x di atmosfer akan mengakibatkan kerusakan tanaman, tetapi sukar ditentukan apakah kerusakan tersebut diakibatkan langsung oleh NO_x atau karena polutan sekunder yang diperoleh dalam siklus fotolitik NO₂. Beberapa polutan sekunder diketahui bersifat sangat merusak tanam-tanaman. Percobaan dengan fumigasi tanam-tanaman dengan NO₂ menunjukkan terjadinya bintik bintik pada daun jika digunakan konsentrasi 1,0 ppm, sedangkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi (3,5ppm atau lebih) terjadinya nekrosis atau kerusakan tenunan daun.

Udara yang telah tercemar oleh gas nitrogen oksida tidak hanya berbahaya bagi manusia dan hewan saja, tetapi juga berbahaya bagi kehidupan tanaman. Pengaruh gas NO_x pada tanaman antara lain timbulnya bintik-bintik pada permukaan daun. Pada konsentrasi yang lebih tinggi gas tersebut dapat menyebabkan nekrosis atau kerusakan pada jaringan daun. Dalam keadaan seperti ini daun tidak dapat berfungsi sempurna sebagai tempat terbentuknya karbohidrat melalui proses fotosintesis. Akibatnya tanaman tidak dapat memproduksi seperti yang diharapkan. Konsentrasi NO sebanyak 10 ppm sudah dapat menurunkan kemampuan fotosintesis daun sampai sekitar 60% hingga 70%.

Pencemaran udara oleh gas NO_x juga dapat menyebabkan timbulnya *Peroxy Acetyl Nitrates* yang disingkat PAN. *Peroxy Acetyl Nitrates* dapat menyebabkan iritasi pada mata yang menyebabkan mata terasa pedih dan berair. Campuran PAN bersama senyawa kimia lainnya yang ada di udara dapat menyebabkan terjadinya kabut foto kimia atau *Photo Chemistry Smog* yang sangat mengganggu lingkungan (Wardhana, 2001).

2.3.5 Pengendalian Pencemar Gas NO_x

Untuk mengeliminasi Nitrogen Oksida (NO_x), mesoporous WO₃(X)-CeO₂ (X merupakan rasio mole W/Ce) disintesis menggunakan KIT-6, yang digunakan untuk *selective catalytic reduction* (SCR) untuk menghilangkan NO_x dengan NH₃ pada temperatur rendah. Mesoporous WO₃(1)-CeO₂ menghasilkan removal NO_x terbaik dan konversi NO_x dapat mencapai 100% pada temperatur 325°C hingga 350°C dengan kecepatan gas 30.000 per jam (Zhan, 2016)

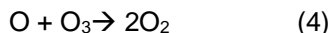
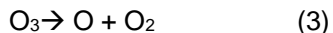
2.4 Ozon (O₃)

O₃ merupakan gas yang sangat reaktif (Rani, 2011). Ozon merupakan salah satu unsur gas pada atmosfer. Gas ini berada pada lapisan stratosfer yang berfungsi sebagai filter UV. Lapisan ozon diproduksi dari reaksi oksigen dengan cahaya ultraviolet (Widowati dan Sutoyo, 2009).

Menurut Wardhana (2004) Lapisan ozon adalah lapisan pelindung atmosfer bumi yang berfungsi sebagai pelindung terhadap sinar ultraviolet yang datang berlebihan dari sinar matahari. Ozon yang ada pada lapisan atmosfer bawah sekitar 0,02 ppm sedangkan ozon yang ada pada lapisan atmosfer atas (lapisan stratosfir) sekitar 0,1 ppm.

2.4.1 Pembentukan Ozon (O₃)

Ozone merupakan gas berwarna biru pucat. Ozone terbentuk dari oksigen pada atmosfer yang menyerap radiasi ultraviolet.



Secara konstan, ozon terbentuk dan musnah. Reaksi diatas bertanggung jawab untuk efek screening penting ozon. Ozon juga dapat terbentuk pada bagian bawah atmosfer. Ozon terbentuk dari reaksi antara nitrogen oksidan dan hidrokarbon

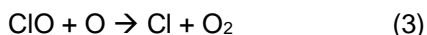
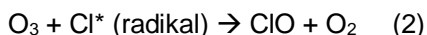
dibawah sinar matahari, atau dengan lecutan listrik dimana terjadi pada mesin mobil (Rani, 2011).

2.4.2 Kerusakan Lapisan Ozon (O₃)

Menurut Wardhana (2004) kerusakan lapisan ozon disebabkan karena bereaksi dengan radikal chlor. Apabila lapisan ozon rusak maka sifat ozon sebagai penyaring sinar UV tidak akan berfungsi lagi. Sinar UV yang tidak tersaring oleh lapisan ozon ini akan terus ke bumi dan dapat merusak kulit manusia.

Selain dapat mengakibatkan kanker kulit. Sinar UV juga dapat mengakibatkan suhu bumi naik. Kenaikan suhu bumi akan menyebabkan mencairnya es yang ada di kutub. Hal itu akan mengakibatkan naiknya permukaan laut. Garis pantai akan bergeser naik sehingga tempat-tempat yang terletak di tepi pantai akan tenggelam.

Kerusakan lapisan ozon



2.5 Alat Pemantau Berbasis Mikrokontroller

2.5.1 Mikrokontroller ATmega 16

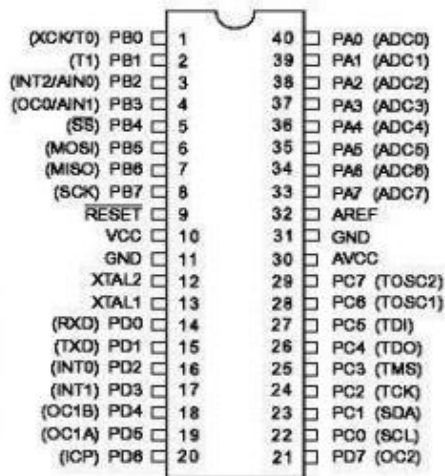
Mikrokontroller adalah sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu *chip* IC, sehingga sering disebut *single chip microcomputer*, mikrokontroler merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik. Elemen mikrokontroler tersebut diantaranya adalah

- a. Pemroses (*processor*)
- b. Memori
- c. Input dan output (Chamim, 2010)

Penggunaan mikrokontroler dalam suatu sistem minimum lebih menguntungkan dibandingkan dengan mikroprosesor sebab mikrokontroler tidak membutuhkan lagi memoridan I/O eksternal

selama memori dan I/O internal dalam chip masih mencukupi (Andrianto, 2008).

Mikrokontroler ATmega16 merupakan jenis mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu digunakan untuk pengolahan data-data biner (digital) yang di dalamnya merupakan gabungan dari rangkaian-rangkaian elektronik yang dikemas dalam suatu chip IC (Integrated Circuit) (Azwar, 2013).

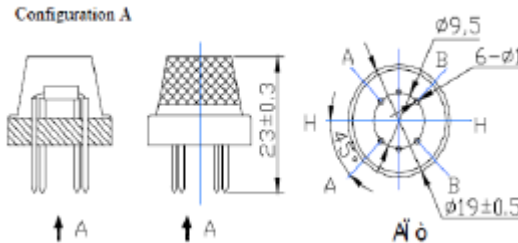


Gambar 2. 1 mikrokontroler ATmega16

Elemen penting dalam mikrokontroler adalah *analog-to-digital converter (ADC)* dan *universal synchronous and asynchronous serial receiver dan transmitter (USART)*. Pada ADC sinyal dari sensor yang diterima dalam bentuk grafik milivolt lalu di lakukan pengkondisian sinyal sehingga keluaran sinyal dalam bentuk volt. Langkah selanjutnya dalam ADC adalah konversi sinyal analog menjadi kode digital sehingga dapat dikenali oleh sistem digital yang memproses informasi (Rosiek dan Batlles, 2008).

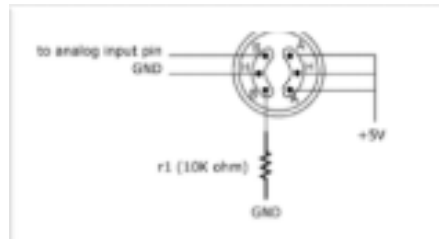
2.5.2 Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 adalah sensor gas yang memiliki konduktivitas rendah jika berada diudara bersih. Konduktivitas sensor akan naik seiring dengan kenaikan konsentrasi gas.



Gambar 2. 2 konfigurasi sensor MQ-135

Untuk mengonversi terhadap kepekatan gas, sensor ini memerlukan suatu sirkuit listrik tambahan. Kelebihan dari sensor ini adalah: memiliki kepekaan yang baik terhadap gas berbahaya (Amonia, Sulfida, Benzena) dalam berbagai konsentrasi, Masa aktif yang lama, dan membutuhkan biaya yang lebih rendah (Andrianto, 2008).



Gambar 2. 3 rangkaian sensor Mq-135

Seperti ditunjukkan dalam pada gambar, komponen sensitif terdiri dari 2 bagian. satu adalah sirkuit pemanas memiliki fungsi kontrol waktu (tegangan tinggi dan pekerjaan tegangan rendah sirkuler). Yang kedua adalah rangkaian output sinyal, secara akurat dapat merespon perubahan permukaan resistansi sensor.

Keterangan : 5.3 5V dimasukan ke Pin VCC

6.3 GND dimasukan ke Pin Ground

7.3 To analog input pin dimasukan ke PORTA sebagai penerima data ADC (Azhari, 2013)

2.6 ISPU (Indeks Standart Pencemaran Udara)

ISPU ditetapkan berdasarkan 5 pencemar utama, yaitu : karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), ozon permukaan (O₃), dan partikel debu (PM₁₀). Di Indonesia ISPU diatur berdasarkan Keputusan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP-107/KABAPEDAL/11/1997.

Tabel 2. 2 Angka dan Kategori Index Standart Pencemar Udara (ISPU) dan Dampak Kesehatan

Indeks	Kategori	Dampak Kesehatan
1 – 50	Baik	Tidak memberikan dampak bagi kesehatan manusia atau hewan
51 – 100	Sedang	Tida berpengaruh bagi kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang peka
101 – 199	Tidak Sehat	Bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang peka atau dapat menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika
200 – 299	Sangat Tidak Sehat	Kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada jumlah segmen populasi yang terpapar
300 - lebih	Berbahaya	Kualitas udara yang berbahaya secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi (misalnya iritasi mata, batuk dahak dan sakit tenggorokan)

2.7 Stasiun Pemantau Kualitas Udara Ambien

Stasiun pemantau kualitas udara ambien (SUF) di Kota Surabaya ada 7 unit. Namun yang beroperasi saat ini hanya ada 3. Parameter yang di ukur ada 16 parameter dimana 5 parameter kunci dan 11 parameter pendukung dan meteorologi. Parameter kunci tersebut adalah PM_{10} , SO_2 , O_3 , NO_2 dan CO. Sedangkan parameter pendukung dan meteorologinya adalah NO, NO_x , kecepatan angin (FF), kecepatan hembusan angin (FF Boe), arah angin (DD), arah hembusan angin (DD Boe), kelembapan udara ambien, kelembapan udara kontainer, suhu udara ambien, suhu kontainer dan global radiasi.

Setiap parameter memiliki metode pengukuran yang berbeda. Untuk O_3 alat yang digunakan untuk mengukur adalah APOA-360 dari Horiba berdasarkan metode penyerapan ultraviolet. Metode ini digunakan sesuai dengan karakteristik ozon yang menyerap sinar ultraviolet dengan panjang gelombang tertentu. Sedangkan NO_2 diukur menggunakan alat APNA-360 dari Horiba dengan metode chemiluminescence.

2.8 Pengaruh Hari Libur Terhadap Polusi Udara

Tan (2009) telah melakukan penelitian tentang pengaruh hari libur tahun baru Cina terhadap polusi udara di Taiwan. Penelitian dilakukan pada 10 hari sebelum dan setelah tahun baru Cina. Konsentrasi polusi udara yang di teliti adalah NO_x , CO, non-methane hydrocarbon (NMHC), O_3 , SO_2 dan PM_{10} . Menurut hasil penelitian konsentrasi NO_x , CO, NMHC, SO_2 dan PM_{10} lebih rendah saat hari libur tahun baru Cina dibandingkan dengan hari non-tahun baru Cina. Sedangkan konsentasi O_3 lebih tinggi saat hari libur tahun baru Cina dibandingkan dengan hari non-tahun baru Cina.

Menurut Han (2011) konsentrasi NO lebih besar saat *weekdays* dibandingkan dengan akhir pekan yang disebabkan oleh intensitas kendaraan. Rata-rata harian NO lebih besar dari NO_2 saat *weekdays*. Hal ini disebabkan karena NO_2 memiliki *lifetime* lebih panjang dan NO lebih reaktif. Nilai rata-rata maksimum untuk O_3 lebih besar saat akhir pekan dibandingkan saat *weekdays*. Hal ini disebabkan reaksi fotokimia yang terjadi.

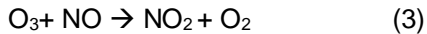
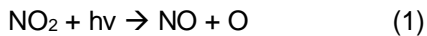
Khoder (2007) melakukan penelitian mengenai pola konsentrasi O_3 musiman dan *weekdays-weekend*. Penelitian dilakukan selama periode Desember 2004 hingga November 2005 di daerah perkotaan di Greater Kairo. Nilai rata-rata O_3 adalah 43,89; 65,30; 91,30 dan 58,10 ppb di siang hari dan 29,69; 47,80; 64,00 dan 42,70 ppb di sepanjang hari selama musim dingin, musim semi, musim panas dan musim gugur. Siklus diurnal konsentrasi O_3 selama 4 musim mengungkapkan puncak uni-modal dalam waktu tengah hari dengan tingkat O_3 tertinggi dimusim panas karena produksi fotokimia lokal. Variasi diurnal konsentrasi NO dan NO_2 selama musim dingin dan panas menunjukkan dua puncak harian terkait dengan kepadatan lalu lintas. Tingkat tertinggi NO_x ditemukan di musim dingin. Hampir 75%, 100%, 34,78% dan 52,63% konsentrasi rata-rata O_3 di siang hari masing-masing selama musim semi, musim panas, musim gugur dan sepanjang tahun melebihi standar kualitas udara Mesir dan Uni Eropa (60 ppb). Kabut asap fotokimia terbentuk pada daerah penelitian di musim panas. Kabut asap fotokimia terjadi ketika konsentrasi O_3 melebihi 100 ppb. Konsentrasi NO dan NO_2 di akhir pekan lebih rendah dari hari kerja, sedangkan konsentrasi O_3 tinggi saat akhir pekan dibandingkan dengan hari kerja. Fenomena ini dikenal sebagai "*weekend effect*". Suhu dan kelembapan yang relatif tinggi serta radiasi matahari yang intens dapat menimbulkan konsentrasi O_3 tinggi.

2.9 Hubungan antara O_3 , NO dan NO_2

Analisa mengenai hubungan antara O_3 , NO dan NO_2 telah dijelaskan dalam studi yang dilakukan oleh Han (2011). Pola konsentrasi O_3 memiliki waktu puncak pada saat siang hari dan pada malam hari konsentrasinya rendah. Konsentrasi ozon perlahan naik setelah matahari terbit, puncaknya pada tengah hari dan kemudian perlahan turun sampai pagi hari selanjutnya. Hal tersebut disebabkan oleh O_3 fotokimia. Bentuk siklus ozon sangat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi dan tingkat yang berlaku prekursor (NO_x). Siklus konsentrasi NO muncul dari emisi kendaraan dan dikonversikan menjadi NO_2 , yang memiliki dampak yang besar pada siklus ozon. NO_2 dan NO_x berhubungan linear, begitu juga dengan NO dan NO_x . Sedangkan antara O_3 dan NO_2/NO memiliki hubungan polynomial.

Menurut Han (2009) NO sebagai kontaminan utama, dimana O₃ dan NO₂ merupakan kontaminan kedua. Pada pagi hari dimana cahaya matahari mulai ada dan menyebabkan reaksi fotokimia. NO dikonversi menjadi NO₂ melalui reaksi dengan O₃ dan selama siang hari NO₂ di konversikan kembali menjadi NO sebagai hasil dari fotolisis, yang mengarah ke regenerasi O₃.

Menurut Kenty (2007) konversi O₃, NO dan NO₂ dalam keadaan atmosfer adalah sebagai berikut



M (biasanya N₂ atau O₂) merupakan molekul yang menyerap energi getaran berlebih sehingga menstabilkan terbentuknya molekul ozon. H_v merupakan energi foton dan O adalah molekul monoatomic Oxygen.

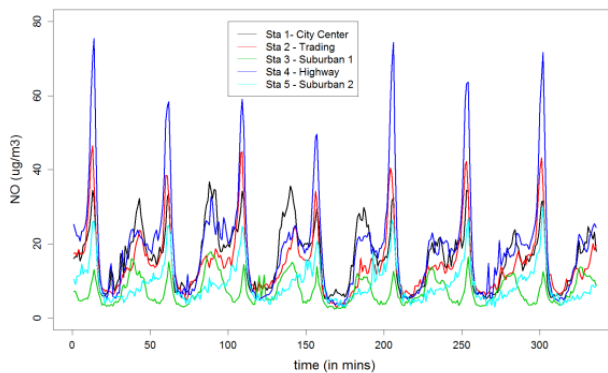
2.10 Pengaruh *Car Free Day* Terhadap Kualitas Udara

Penelitian yang dilakukan Masiol (2014) tentang sumber potensi, tren, siklus dan efek dari *car free day* terhadap polusi udara. Pada penelitian tersebut dilakukan di area industri terbesar di Italia. Sumber emisi terdiri dari pembakaran sumber bergerak dan sumber tidak bergerak dan proses fotokimia. Secara umum nilai Nitrogen Oksida relatif tetap sedangkan nilai ozon sedikit meningkat. Musim panas 2003 merupakan pertumbuhan lapisan ozon terbesar di seluruh Eropa tengah sejak tahun 1980an sehingga berdampak pada peningkatan nilai NO₂. Hasil analisa juga menunjukkan bahwa nilai NO_x menurun disebabkan oleh penurunan emisi di pembangkit listrik dan lalu lintas.

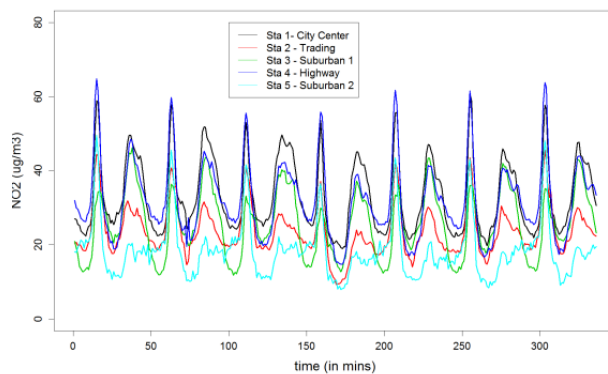
NO memiliki nilai peak pada pagi hari dan sore hari, namun sedikit pada saat musim hangat dan hari minggu. Nilai peak NO₂ dominan pada pagi hari saat musim panas dan saat sore hari nilainya sedikit bergeser. Hal tersebut dapat diasumsikan bahwa sumber emisi utama dari NO adalah kendaraan bermotor yang menyebabkan nilai peak pada pagi hari sangat cepat dan hampir seluruhnya teroksidasi saat musim hangat menjadi NO₂ karena ozon yang lebih tinggi.

2.11 Analisa dan Interpretasi Data Pemantauan Kualitas Udara

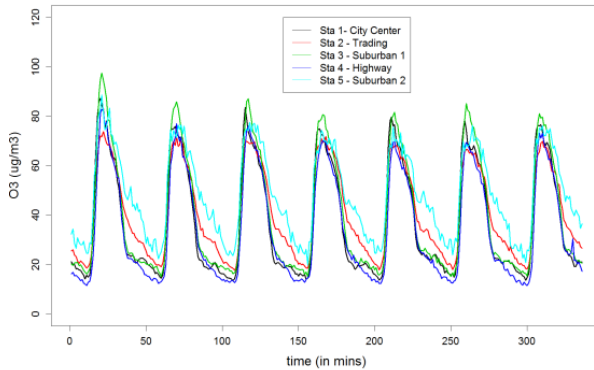
Penelitian tentang analisa dan interpretasi data pemantauan kualitas udara di Kota Surabaya di lakukan oleh Syafei (2014). Menurut penelitian tersebut pola mingguan NO, NO₂ dan O₃ pada bulan Februari 2001 hingga September 2002 menggunakan interval data 30 menit dapat dilihat pada Gambar 2.4 hingga Gambar 2.6



Gambar 2. 4 Pola Mingguan Parameter NO

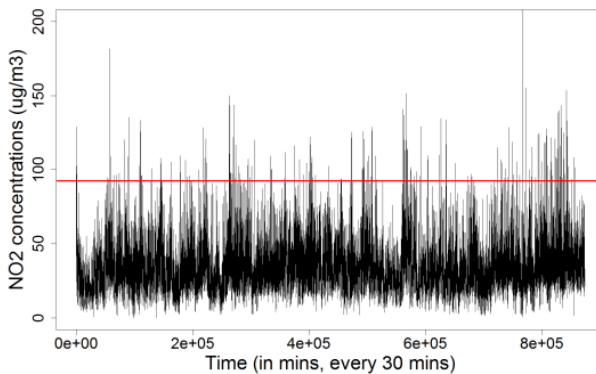


Gambar 2. 5 Pola Mingguan Parameter NO₂

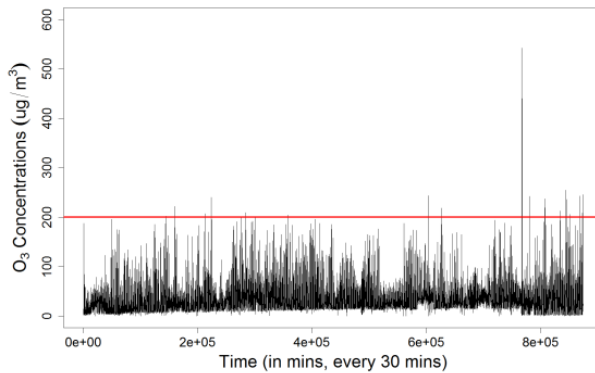


Gambar 2. 6 Pola Mingguan Parameter O₃

Penelitian tersebut juga menganalisa tentang konsentrasi polutan yang melebihi baku mutu pemerintah Jawa Timur. Grafik analisa konsentrasi polutan dengan baku mutu dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8



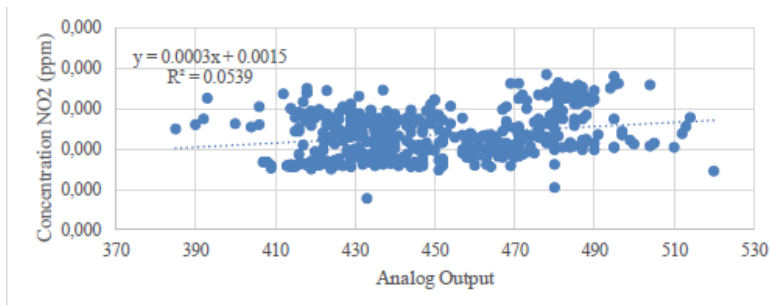
Gambar 2. 7 Konsentrasi NO₂ pada tahun 2001-2002 pada Stasiun Pemantau Ketabang Kali



Gambar 2. 8 Konsentrasi O₃ pada tahun 2001-2002 pada Stasiun Pemantau Ketabang Kali

2.12 Kalibrasi Alat Pemantau Udara berbasis Mikrokontroler dengan Aeroqual

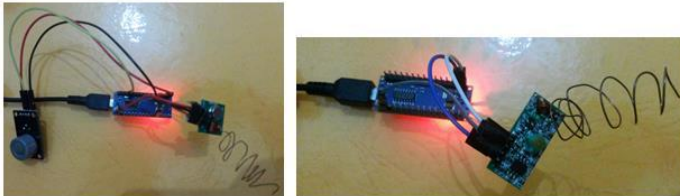
Penelitian pendahuluan terhadap alat pemantau udara berbasis mikrokontroler dilakukan pada tanggal 31 Oktober hingga 4 November 2016. Lokasi yang dipilih adalah pos SKK ITS depan swalayan sakinah Keputih. Alat pemantau udara dilakukan kalibrasi menggunakan alat Aeroqual S500. Hasil kalibrasi dapat di lihat pada Gambar 2.9



Gambar 2. 9 Hasil Kalibrasi Alat Pemantau dengan Aeroqual

2.13 Kalibrasi menggunakan Chamber Gas

Kalibrasi menggunakan chamber gas dilakukan oleh Suryaningsih (2017). Rangkaian transmitter yang telah dirancang terdiri dari sensor MQ-9, Arduino Nano dan transmitter board XD-FST. Kode program berhasil dicompile dan diupload yang ditandai dengan keterangan Done uploading. Hal ini menunjukkan bahwa kode program tidak ada kesalahan dan berhasil diupload ke port COM 4 yaitu port untuk rangkaian transmitter. Rangkaian receiver yang telah dirancang terdiri dari Arduino Nano dan receiver board CZS-3. Kode program dicompile dan diupload ke port COM3 yang merupakan rangkaian receiver. Hal ini ditandai dengan adanya keterangan Done uploading. Rangkaian receiver telah menerima respon data dari rangkaian transmitter dengan baik, hal ini ditunjukkan dengan tampilnya data-data yang muncul dalam periode yang sesuai dengan kode program yang telah dimasukkan. Lampu indikator pada arduino menyala dan membuktikan bahwa rangkaian sudah terhubung dengan baik Gambar 2.10

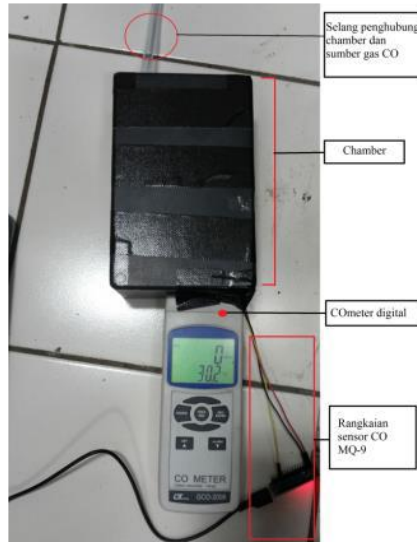


Gambar 2. 10 Hasil perancangan rangkaian transmitter dan receiver

Nilai data keluaran juga meningkat cepat ketika sensor mendeteksi gas CO, hal ini membuktikan bahwa sensor merespon dengan baik dan pengiriman data dengan komunikasi nirkabel berhasil dilakukan dengan cepat secara real time.

Pengkalibrasian alat dilakukan dengan membangun sistem kerja kalibrasi dengan memasang CO Meter (Lutron GCO-2008) dan rangkaian sensor CO MQ-9 pada sebuah chamber gas. Perubahan konsentrasi gas CO pada awal penurunan dari 1000 ppm mempunyai selisih sangat besar dan penurunan nilainya cukup cepat, begitu juga pada perubahan data digital.

Pada saat konsentrasi gas mencapai kisaran 100 ppm, selisih perubahan nilai konsentrasi gas maupun data digital sangat kecil dan penurunan nilai terjadi cukup lambat.



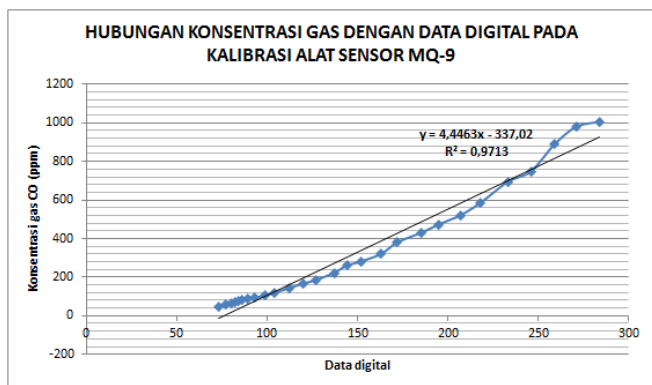
Gambar 2. 11 Sistem Kerja Kalibrasi

Dengan menggunakan metode regresi linier, grafik hubungan konsentrasi gas dengan data digital akan menghasilkan suatu persamaan regresi berikut:

$$Y = 4,4463X - 337,02$$

yang dapat digunakan untuk menjadi persamaan konversi pada alat sensor MQ-9 berupa nilai konversi dengan satuan ppm

Gambar 2.12



Gambar 2. 12 Hubungan Konsentrasi Gas CO dengan Data Digital

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

O₃ merupakan komponen penting dalam kehidupan, kerusakan lapisan ozon akan mengakibatkan kanker kulit manusia dan dapat meningkatkan suhu bumi. Konsentrasi Nitrogen Oksida (NO_x) terus meningkat berbanding lurus dengan aktivitas ekonomi yang berpotensi menggunakan energi dan menghasilkan polutan. Pemantauan terhadap kualitas udara sangat dibutuhkan. Sehingga dalam penelitian ini pemantauan kualitas udara gas Nitrogen oksida (NO_x) dilakukan menggunakan alat berbasis mikrokontroler dengan sensor gas MQ-135 untuk mendeteksi gas NO_x. Data dari alat tersebut dikirimkan ke *website* monitoring-udara.hol.es yang dapat di akses dan di unduh oleh semua kalangan. Alat tersebut memiliki output data berupa volt sedangkan output yang digunakan dalam pemantauan kualitas udara adalah ppm sehingga diperlukan kalibrasi alat. Metode kalibrasi yang akan dilakukan adalah metode *co-location* dan dilakukan di stasiun pemantau udara (SUF) 1, Taman Prestasi di Surabaya. Alat pemantau udara berbasis mikrokontroler dapat di lihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Alat Pemantau Udara Parameter NO_x berbasis Mikrokontroler

Terdapat 7 stasiun pemantau udara di Kota Surabaya namun hanya 3 yang aktif. Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap karakteristik udara ambien menggunakan stasiun pemantau Kota Surabaya. Analisa dilakukan menggunakan konsentrasi NO, NO₂, O₃. Data konsentrasi NO, NO₂, O₃ stasiun pemantau udara (SUF) 1 (satu) pada tahun 2012- 2016 dan stasiun pemantau udara (SUF) 6 (enam) dan 7 (tujuh) pada tahun 2014-2016 ditentukan *diurnal pattern*-nya lalu dievaluasi terhadap baku mutu PP no 41 tahun 1999 dan Pergub Jatim no 10 tahun 2009.

Setelah diketahui pola konsentrasi NO, NO₂, O₃ maka dapat dianalisis apa efek dan pengaruh meteorologi (suhu, kelembapan, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari), car freeday dan akhir pekan terhadap konsentrasi NO, NO₂, O₃ dengan membandingkan data konsentrasi NO, NO₂, O₃ dengan data meteorologi.

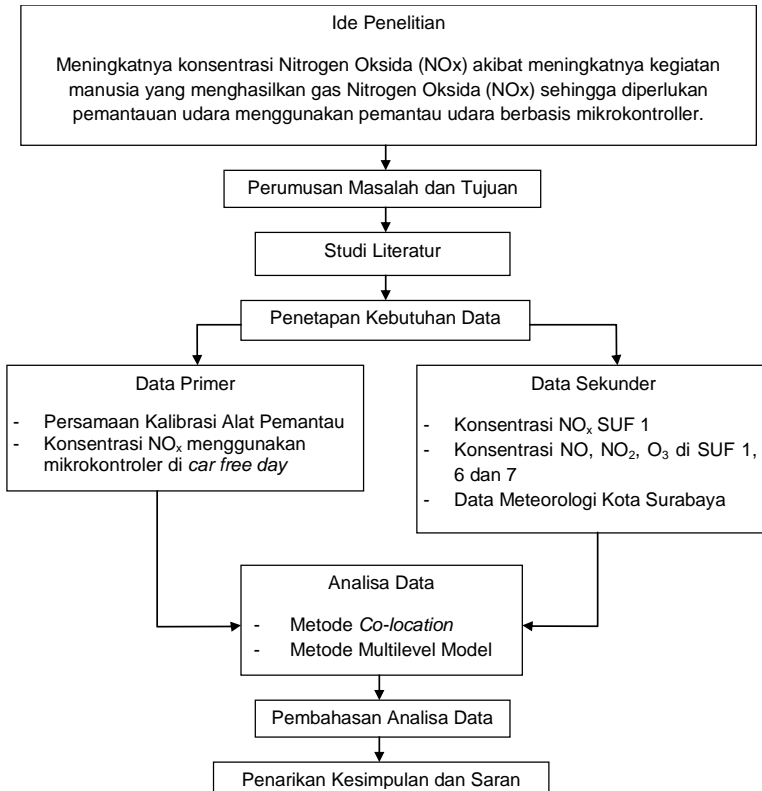
3.2 Kerangka Penelitian

Secara ringkas, kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2

3.3 Penjelasan Kerangka Penelitian

3.3.1 Ide Penelitian

Pertumbuhan aktivitas ekonomi dan urbanisasi yang cukup tinggi baik diperkotaan dan subperkotaan berpotensi besar dalam peningkatan penggunaan konsumsi energi, seperti pada kebutuhan bahan bakar guna pembangkit tenaga listrik, tungku-tungku industri dan transportasi. Konsentrasi Nitrogen oksida (NO_x) berbanding lurus dengan aktivitas manusia. Semakin meningkatnya aktivitas manusia maka semakin meningkat konsentrasi NO_x di udara. NO_x berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan sehingga diperlukan pemantauan kualitas udara konsentrasi NO_x. O₃ juga penting dalam kehidupan, kerusakan lapisan ozon akan mengakibatkan kanker kulit manusia dan dapat meningkatkan suhu bumi.



Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian

Pemantau kualitas udara ada banyak di Indonesia. Namun banyak yang rusak atau tidak beroperasi seperti di Surabaya ada tujuh (7) stasiun pemantau dan yang beroperasi hanya ada (3). Data dari stasiun pemantau (SUF) terdiri dari parameter CO, NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂ dan PM₁₀. Sedangkan data pendukung lainnya adalah arah angin, kecepatan angin, kelembaban, radiasi matahari dan temperatur. Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap karakteristik kualitas udara ambien dengan parameter NO, NO₂ dan O₃ dengan menentukan pola konsentrasinya sehingga dapat di deskripsikan kualitas udaranya.

Upaya perbaikan terhadap stasiun pemantau udara yang rusak sangat tidak memungkinkan dilihat dari segi biaya yang cukup besar. Opsi yang dilakukan biasanya adalah membeli yang baru, namun untuk pembelian stasiun pemantau juga tidak murah. Oleh sebab itu pada penelitian ini menggunakan pemantau udara berbasis mikrokontroler dengan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas NO_x . Pemantau udara berbasis mikrokontroler ini perlu dilakukan kalibrasi untuk mendapatkan data yang sesuai. Hasil kalibrasi merupakan suatu persamaan yang nantinya akan digunakan untuk pemantauan udara di tempat lain. Sehingga dapat diketahui pola konsentrasi NO_x harian dan puncak dari konsentrasi NO_x tersebut.

3.3.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah muncul dari diperlukannya pemantauan terhadap konsentrasi NO_x yang ada diudara dan alat pemantau yang digunakan merupakan alat yang memiliki nilai ekonomis dan tidak mengorbankan kualitas.

Alat pemantau NO_x yang digunakan memakai mikrokontroler ATmega 16 dengan sensor MQ-135. Output dari alat tersebut adalah satuan tegangan atau volt sehingga dibutuhkan suatu kalibrasi. Dari kalibrasi tersebut dicari apa persamaan yang dihasilkan dari kalibrasi alat pemantau melalui metode *colocation* di stasiun pemantau udara (SUF) 1, Taman Prestasi di Surabaya.

Data dari 2 (dua) Stasiun Pemantau udara yaitu stasiun pemantau udara 6 (enam) dan 7 (tujuh) pada tahun 2014-2016 dan data dari 1 (satu) Stasiun pemantau udara yaitu stasiun pemantau udara 1 (satu) pada tahun 2012-2016 dilakukan analisa untuk dicari bentuk pola konsentrasi NO , NO_2 dan O_3 secara *diurnal pattern* dan dicari waktu puncaknya.

Data-data yang didapatkan setiap parameter juga dilakukan evaluasi terhadap baku mutu dan dicari apakah penyebabnya jika ada perbedaan terhadap baku mutu. Setelah diketahui pola konsentrasi NO , NO_2 dan O_3 maka dapat dianalisis apa efek dan pengaruh meteorologi (suhu, kelembapan, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari) dan *car freeday* dan akhir

pekan terhadap konsentrasi NO, NO₂ dan O₃ dengan membandingkan data konsentrasi NO, NO₂ dan O₃ dengan data meteorologi

3.3.3 Perumusan Tujuan

Perumusan tujuan didapatkan dari permasalahan yang telah dirumuskan. Tujuan dari penelitian dan analisa ini adalah mengkalibrasi alat pemantau udara berbasis mikrokontroler dengan metode *colocation* di stasiun pemantau udara (SUF) 1 Taman Prestasi di Surabaya, menentukan *diurnal pattern* konsentrasi NO, NO₂, O₃ dari stasiun pemantau udara (SUF) 1 pada tahun 2012-2016 serta stasiun pemantau udara (SUF) 6 dan 7 pada tahun 2014-2016 dan mengetahui waktu puncaknya, mengevaluasi data konsentrasi NO, NO₂, O₃ stasiun pemantau udara (SUF) 1 pada tahun 2012-2016 serta stasiun pemantau udara (SUF) 6 dan 7 pada tahun 2014-2016, menentukan pengaruh meteorologi, *car freeday* dan akhir pekan pada konsentrasi udara NO, NO₂, O₃.

3.3.4 Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari bahan-bahan yang menunjang penelitian dari sumber-sumber yang ada (*textbook*, jurnal penelitian, internet, artikel dan lain sebagainya) berupa pustaka yang memiliki tema mengenai pencemaran udara, gas NO₂, gas NO_x, mikrontroller ATMega16, sensor Mq-135 dan lain-lain.

3.3.5 Penetapan Kebutuhan Data

Penetapan kebutuhan data yang dilakukan menggunakan 2 data yaitu data primer dan data sekunder. Data yang akan diambil dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Data Primer dan Sekunder yang Dibutuhkan

Jenis Data	Uraian Data	Sumber
Primer	Persamaan kalibrasi pemantau udara berbasis mikrokontroler dengan sensor MQ-135	Pengukuran konsentrasi NO _x di SUF Taman Prestasi menggunakan pemantau udara berbasis mikrokontroler
	Konsentrasi NO _x di <i>Car Free Day</i>	Pengukuran konsentrasi NO _x di <i>Car Free Day</i> menggunakan pemantau udara berbasis mikrokontroler
Sekunder	Data konsentrasi NO _x di SUF Taman Prestasi	BLH Surabaya
	Data konsentrasi NO, NO ₂ dan O ₃ pada stasiun pemantau udara (SUF) 1 (satu), 6 (enam) dan 7 (tujuh) di Surabaya	BLH Surabaya
	Data Meteorologi Kota Surabaya	BLH Surabaya

3.3.6 Analisa Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

- Mengkalibrasi alat pemantau udara berbasis mikrokontroler dengan metode *co-location*. Dari metode *colocation*, grafik karakteristik sensor saat mendeteksi gas polutan dapat dibuat persamaan matematika yang menyatakan hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan konsentrasi gas yang terdeteksi. Contoh grafik dapat dilihat pada Gambar 2.9
- Melakukan analisis dengan membuat grafik dengan sumbu X adalah waktu (menit) dan sumbu Y adalah konsentrasi NO, NO₂, O₃ (µg/m³). Dari grafik tersebut dapat diketahui pola konsentrasi NO, NO₂, O₃ secara *diurnal pattern* dan puncak dari konsentrasi NO, NO₂, O₃. Contoh grafik dapat dilihat pada Gambar 2.4 hingga Gambar 2.6
- Melakukan analisis dengan membuat grafik dengan sumbu X adalah waktu (menit) dan sumbu Y adalah konsentrasi NO, NO₂, dan O₃ (ppm). Dari grafik tersebut dapat diketahui pola konsentrasi NO, NO₂, dan O₃ lalu diberikan garis sesuai dengan baku mutu pada grafik sejajar sumbu X. contoh grafik dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8
- Melakukan analisis korelasi konsentrasi NO, NO₂, NO_x dan O₃ dengan meteorologi (suhu, kelembapan, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari), *car freeday*, akhir pekan dan libur panjang dengan menggunakan multilevel model sebagai berikut

$$y_{ij} = \alpha_{j(i)} + \beta x_{ij} + \mu_{oj} + C_i$$

dimana

y_{ij} = data kualitas udara ug/m³ (NO, NO₂, NO_x dan O₃) i pada stasiun j

$\alpha_{j(i)}$ dan β = parameter yang tidak diketahui yang diestimasi

x_{ij} = variabel penjelas (suhu, kelembapan, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari, *car free day*, akhir pekan dan libur panjang)

μ_{oj} dan C_i = komponen acak yang menunjukkan variasi stasiun dan variasi dalam stasiun masing masing

3.3.7 Pembahasan Data

Pembahasan data ini merupakan pembahasan dari hasil analisa data dengan daya dukung studi literatur.

3.3.8 Kesimpulan dan saran

Dari pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil suatu kesimpulan yang menyatakan ringkasan dari hasil penelitian yang menjawab perumusan masalah penelitian. Saran yang diberikan untuk perbaikan penelitian dan pelaksanaan penelitian lebih lanjut.

3.4 Sumber Data

Data yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian ini disampaikan pada tabel di bawah.

Tabel 3. 2 Periode Data yang Digunakan dalam Analisa

Parameter	SUF1	SUF6	SUF7
NO	1 Januari 2012-31 Desember 2016	1 Januari 2014 – 31 Desember 2016	1 Januari 2014 – 31 Desember 2016
NO ₂	1 Januari 2012-31 Desember 2016	1 Januari 2014 – 31 Desember 2016	1 Januari 2014 – 31 Desember 2016
O ₃	1 Januari 2012-31 Desember 2016	1 Januari 2014 – 31 Desember 2016	1 Januari 2014 – 31 Desember 2016

Total data yang digunakan dalam analisa ini dari SUF 1, SUF 6, dan SUF 7 yaitu sebesar 263.088, 157.824, dan 157.824 data. Rinciannya dapat dilihat pada Tabel 3.3. Namun demikian, banyak data yang hilang akibat dari kerusakan sensor yang tidak dapat diperbaiki oleh Pemerintah Kota Surabaya karena mahalnya biaya sensor baru. Persentase data hilang ditampilkan pada Tabel 3.5 di bawah.

Tabel 3. 3 Total Data yang Digunakan dalam Analisa

Parameter	SUF1	SUF6	SUF7
NO	87.696	52.608	52.608
NO ₂	87.696	52.608	52.608
O ₃	87.696	52.608	52.608

Tabel 3. 4 Data yang Tersedia

Parameter	SUF1	SUF6	SUF7
NO	14.855	40.827	41.362
NO ₂	14.855	40.827	41.362
O ₃	63.573	38.301	35.973

Tabel 3. 5 Persentase Data Hilang (%)

Parameter	SUF1	SUF6	SUF7
NO	83,06	22,4	21,38
NO ₂	83,06	22,4	21,38
O ₃	27,51	27,2	31,62

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Kalibrasi Alat Pemantau Udara Berbasis Mikrokontroller

Alat pemantau udara berbasis mikrokontroller menggunakan mikrokontroller ATmega16 dan sensor MQ-135. Udara akan melewati sensor MQ-135. Sensor MQ-135 memiliki rangkaian output sinyal, secara akurat dapat merespon perubahan permukaan resistansi sensor (Azahri, 2013). Perubahan permukaan resistansi tersebut dilanjutkan ke mikrokontroller. “Elemen penting dalam mikrokontroller adalah *analog-to-digital converter (ADC)*. Pada ADC sinyal dari sensor yang diterima dalam bentuk grafik milivolt. Langkah selanjutnya dalam ADC adalah konversi sinyal analog menjadi kode digital sehingga dapat dikenali oleh sistem digital yang memproses informasi” (Rosiek dan Battles, 2008). Prinsip kerja alat pemantau udara berbasis mikrokontroller dapat dilihat pada Gambar 4.1. Output data dalam bentuk tegangan atau miliVolt, sedangkan satuan yang umum digunakan untuk suatu gas adalah ppm atau ppb. Oleh sebab itu alat pendeteksi NO_x harus dikalibrasi dahulu.



Gambar 4. 1 Prinsip kerja alat pemantau udara berbasis mikrokontroller

Kalibrasi alat pemantau udara berbasis mikrokontroller dilakukan di SUF 1 Taman Prestasi Kota Surabaya. Kalibrasi rencananya dilakukan pada tanggal 3 – 10 April 2017. Namun terjadi kendala dimana alat tidak merekam data sejak tanggal 5 april 2017.



Gambar 4. 2 Kondisi Ruang di Dalam Stasiun Monitoring Kualitas Udara Ambien

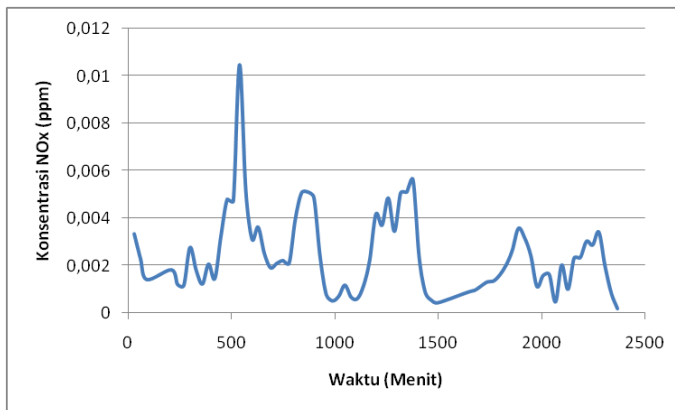


Gambar 4. 3 Proses Pemasangan Alat Pemantau Udara Berbasis Mikrokontroller di SUF 1 Taman Prestasi

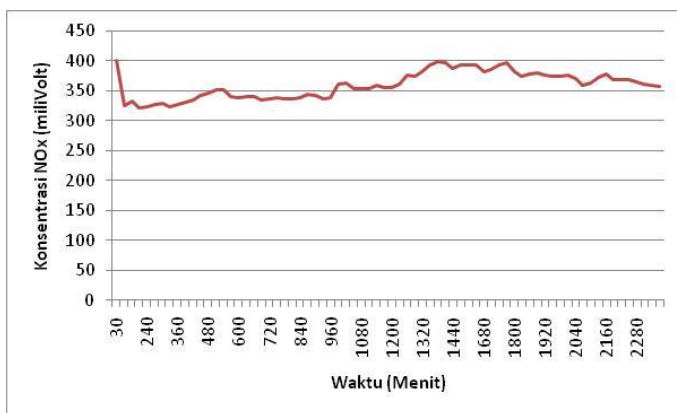


Gambar 4. 4 Proses Pelepasan Alat Pemantau Udara Berbasis Mikrokontroller di SUF 1 Taman Prestasi

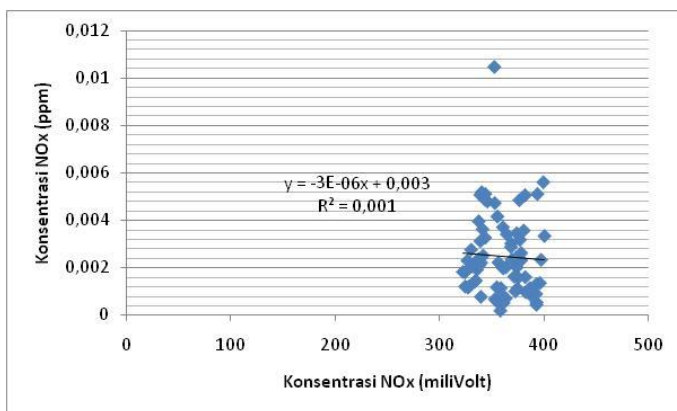
Hasil pemantauan dari SUF 1 untuk konsentrasi NO_x (ppm) pada tanggal 3 – 5 April 2017 dapat dilihat pada Gambar 4.5 Sedangkan hasil pemantauan dari alat pemantau udara berbasis untuk konsentrasi NO_x (volt) dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4. 5 Konsentrasi NO_x (ppm)



Gambar 4. 6 Konsentrasi NO_x (Volt)



Gambar 4. 7 Hasil Kalibrasi Alat Pemantau Udara Berbasis Mikrokontroller di SUF 1 Taman Prestasi

Berdasarkan Gambar 4.7 hasil kalibrasi alat pemantau udara berbasis mikrokontroller dapat dikatakan buruk, dimana nilai koefisien regresinya adalah 0,001. Selain itu, tampak bahwa fluktuasi hasil sensor (miliVolt) tidak sesuai atau tidak mengikuti pola konsentrasi yang tertangkap pada alat SUF 1. Untuk itu, alat pemantau udara berbasis mikrokontroller ini belum bisa

digunakan sebagai pengganti stasiun monitoring kualitas udara ambien (SUF). Perlu dilakukan berbagai evaluasi terhadap alat ini. Evaluasinya adalah sebagai berikut

1. Mengganti sensor. Sensor yang digunakan saat ini adalah sensor MQ-135. Pada beberapa *datasheet* mengklaim bahwa sensor ini memiliki *lifetime* yang lama. Namun saat terakhir digunakan di SUF 1 sensor sangat panas. Sensor ini juga sudah digunakan selama kurang lebih 9 bulan.
2. Memperbaiki transfer data ke *website*. Pada saat pemasangan alat sering terjadi error di pengiriman data ke *website*. Harus sering dilakukan *update* untuk memperbaikinya. Oleh sebab itu harus dilakukan perbaikan terhadap transfer data agar saat *running* alat tidak terjadi *error*.
3. Mengganti metode kalibrasi. Kalibrasi dapat dilakukan seperti metode yang dilakukan oleh Suryaningsih (2017). Pengkalibrasian alat dilakukan dengan membangun sistem kerja kalibrasi dengan memasang PGas-21 dan rangkaian sensor NO_x pada sebuah chamber gas. Berdasarkan hasil penelitian dari Suryaningsih (2017), nilai regresi dari kalibrasi adalah 0,9713.

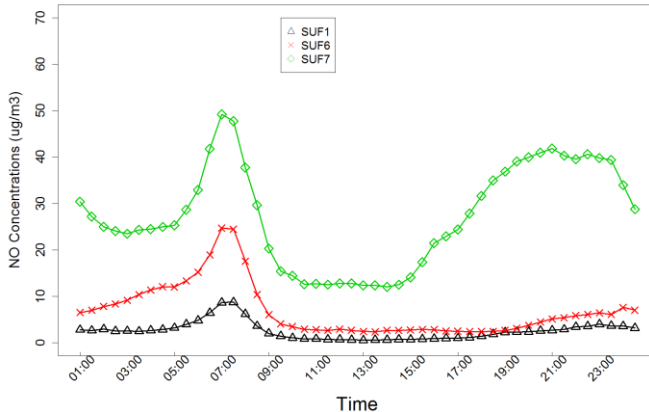
Alat mikrokontroller dijalankan di CFD Darmo menggunakan persamaan dari kalibrasi. Hasilnya dapat dilihat pada pembahasan subbab 4.4

4.2 Pola Harian Konsentrasi Pencemar NO, NO₂ dan O₃

Pola harian (*diurnal pattern*) terhadap konsentrasi pencemar dilakukan menggunakan *platform open source* R. Pola harian dilakukan pada 3 stasiun pemantau udara (SUF) Kota Surabaya yaitu SUF 1, SUF 6 dan SUF 7. Pola harian disajikan dalam bentuk grafik dimana sumbu X merupakan waktu dan Sumbu Y adalah konsentrasi pencemar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

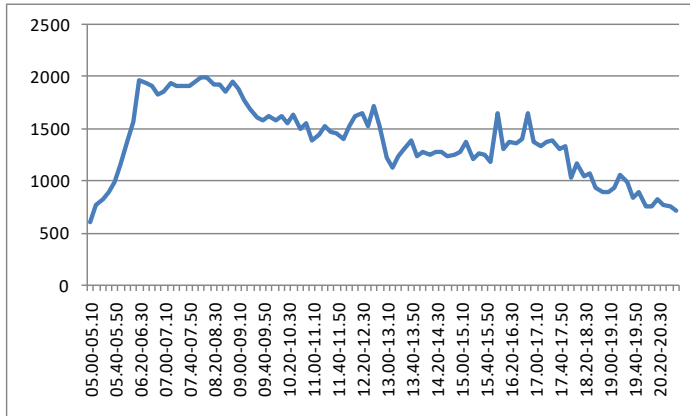
Gambar 4.8 menunjukkan pola harian pencemar NO dari SUF 1, SUF 6 dan SUF 7. Secara keseluruhan jam puncak terjadi pada pagi hari yaitu sekitar pukul 07.00. Namun pada SUF 7 peningkatan konsentrasi terjadi mulai pukul 17.00 WIB sedangkan jam puncaknya pada malam hari yaitu pada pukul 20.00. Selain itu di SUF 7 memiliki konsentrasi pencemar paling

tinggi. Hal ini disebabkan oleh jumlah kendaraan bermotor yang ada, sesuai dengan Gambar 4.9 hingga Gambar 4.11. Jumlah kendaraan bermotor yang didata terdiri dari sepeda motor, mobil pribadi, angkot, taksi, bus mini, *pick up*, mini truk, bus besar, truk 2 sb, truk 3 sb, truk gandeng dan trailer.

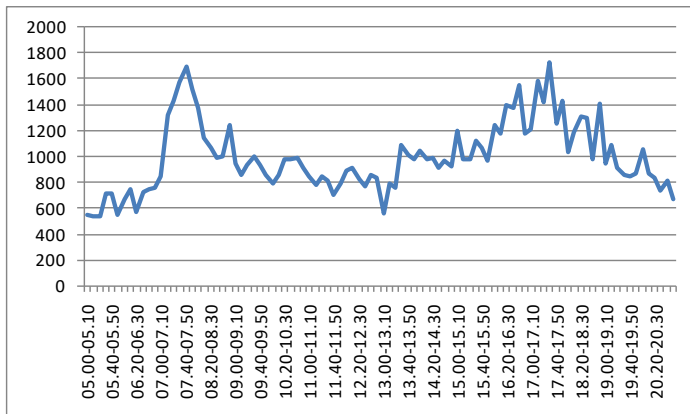


Gambar 4. 8 Pola Harian Pencemar NO SUF 1, 6 dan 7

Tampak bahwa jumlah kendaraan bermotor baik pada SUF 1 maupun SUF 6 meningkat pada pukul 7.00 WIB sebelum akhirnya turun pada Pukul 8.30 WIB (SUF 6 dan SUF 7) dan Pukul 9.00 WIB (SUF 1). Pola kendaraan sedikit berbeda tiap SUF, namun demikian pola *bimodal* tampak jelas pada area sekitar SUF 6 dan SUF 7 namun tidak cukup jelas pada SUF 1. Hal ini menunjukkan volume kendaraan yang hampir merata di pusat kota. Hal tersebut menunjukkan alasan mengapa pola konsentrasi di SUF 1 juga tidak menunjukkan pola *bimodal* yang cukup jelas dibanding SUF lain baik untuk NO maupun NO₂ (gambar 4.12).

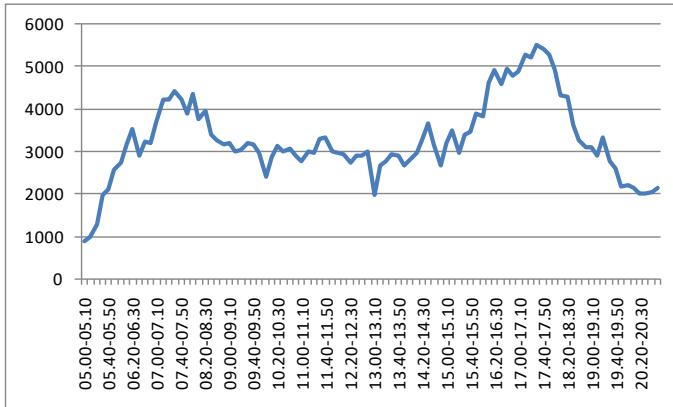


Gambar 4. 9 Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 1 Taman Prestasi

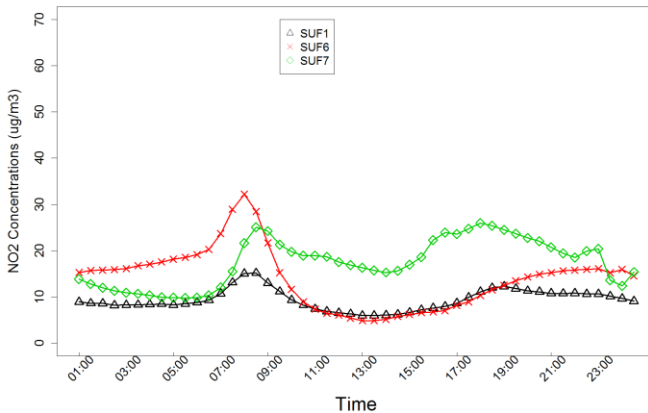


Gambar 4. 10 Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 6 Wonorejo

Gambar 4.12 menunjukkan pola harian pencemar NO_2 dari SUF 1, SUF 6 dan SUF 7. Ketiga SUF tersebut memiliki 2 jam puncak. Secara keseluruhan jam puncak terjadi pada pagi hari yaitu sekitar pukul 07.00. Pada SUF 1 dan 7 jam puncak kedua terjadi pada sore hari yaitu sekitar pukul 17.00 hingga 18.00. Sedangkan pada SUF 6 jam puncak kedua terjadi pada malam hari yaitu pukul 22.00.

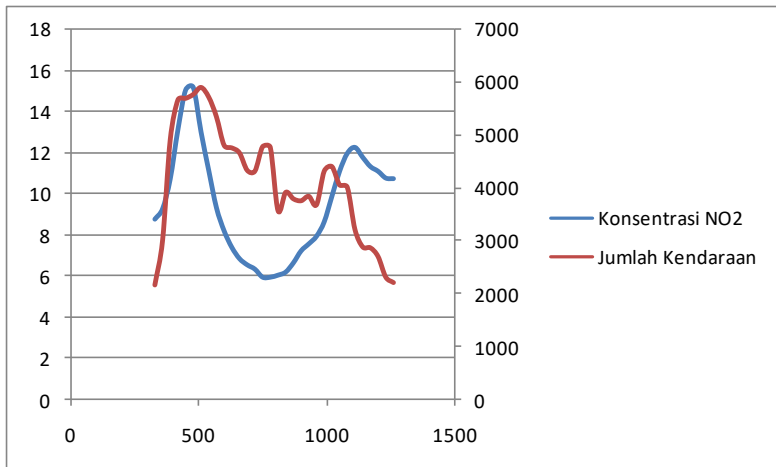


Gambar 4. 11 Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 7 Kebonsari

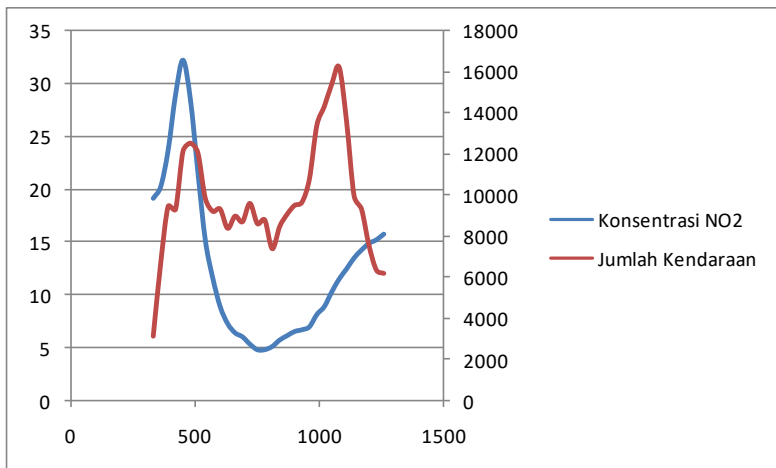


Gambar 4. 12 Pola Harian Pencemar NO₂ SUF 1, 6 dan 7

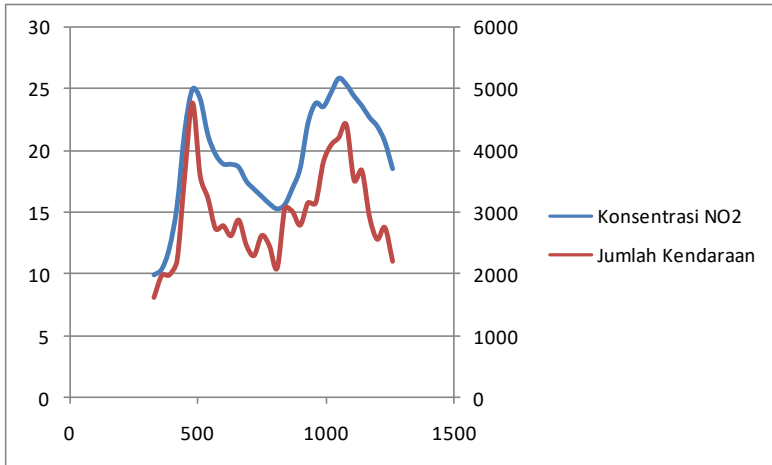
Tampak juga bahwa dibanding SUF 6, konsentrasi rata-rata NO₂ SUF 7 lebih rendah pada pagi hari terutama sebelum pukul 08.00 WIB. Setelah jam tersebut, tampak bahwa konsentrasi di SUF 7 lebih besar dari pada di SUF 6.



Gambar 4. 13 Grafik Konsentrasi NO₂ dengan Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 1



Gambar 4. 14 Grafik Konsentrasi NO₂ dengan Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 6

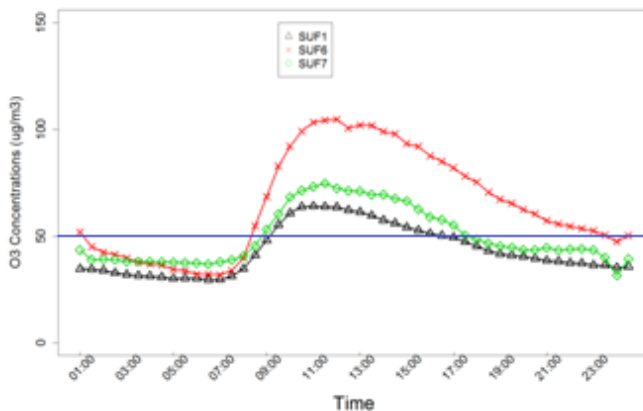


Gambar 4. 15 Grafik Konsentrasi NO₂ dengan Jumlah Kendaraan Bermotor di SUF 7

Gambar 4.13 hingga gambar 4.15 menggambarkan pola konsentrasi NO₂ dan jumlah kendaraan bermotor. Pada SUF 1 pola jumlah kendaraan bermotor cenderung merata. Pola konsentrasi NO₂ terlihat bahwa terdapat 2 waktu puncak. Waktu puncak NO₂ pada pukul 07.30 dan pukul 18.00. Kesamaan pola konsentrasi NO₂ dengan jumlah kendaraan bermotor terjadi pada pukul 05.00 hingga pukul 12.00.

Pada SUF 6 pola konsentrasi NO₂ tidak semuanya mengikuti pola dari jumlah kendaraan bermotor. Pukul 05.00 hingga pukul 08.30 pola konsentrasi keduanya naik lalu turun hingga pukul 10.30. Lalu pola jumlah kendaraan bermotor naik dari pukul 14.00 hingga 18.00. Namun pola konsentrasi NO₂ mengalami kenaikan dari pukul 15.00 hingga pukul 21.00.

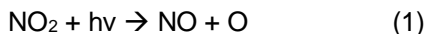
Pada SUF 7 pola konsentrasi NO₂ secara umum mengikuti pola jumlah kendaraan bermotor. Terdapat 2 jam puncak yaitu pukul 08.00 dan pukul 17.30. Dari ketiga SUF, SUF 7 memiliki grafik hubungan antara konsentrasi NO₂ dan jumlah kendaraan bermotor yang jelas dan hampir sama.



Gambar 4. 16 Pola Harian Pencemar O₃ SUF 1, 6 dan 7

Gambar 4.16 menunjukkan pola harian pencemar O₃ dari SUF 1, SUF 6 dan SUF 7. Secara keseluruhan jam puncak terjadi pada siang hari yaitu sekitar pukul 11.00.

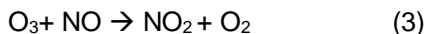
Berdasarkan Gambar 4.8, 4.12 dan 4.16 pola harian NO dan NO₂ berbanding lurus. Pola harian NO, NO₂ berbanding terbalik dengan pola harian O₃. Hal ini disebabkan oleh reaksi fotokimia. Pada pagi hari volume kendaraan tinggi sehingga menimbulkan konsentrasi NO dan NO₂ meningkat. NO₂ yang diemisikan oleh kendaraan bermotor menjadi NO dengan adanya sinar matahari. Sesuai dengan reaksi berikut



$h\nu$ merupakan energi foton. O yang dihasilkan akan bereaksi dengan O₂ menghasilkan O₃. Hal ini mengakibatkan O₃ pada siang hari meningkat dan NO menurun.



M (umumnya N₂ atau O₂) mewakili molekul yang menyerap energi vibrasi berlebih. O₃ menurun saat sore hingga malam hari. O₃ bereaksi dengan NO membentuk NO₂ sehingga pada sore hari konsentrasi NO₂ meningkat.



Peningkatan konsentrasi NO dan NO₂ diakibatkan oleh peningkatan volume kendaraan bermotor sesuai dengan Gambar 4.9 hingga Gambar 4.11. Pada pagi hari (07.00-08.00) merupakan jam sibuk berangkat sekolah dan kerja. Pada sore hari (16.00-18.00) merupakan jam pulang kantor dan kerja.

Namun demikian dari Gambar 4.16, konsentrasi O₃ pada SUF 1 tampak lebih besar dibanding dengan SUF 6, dan terlebih SUF 7 yang memiliki volume kendaraan paling besar. Untuk itu, perlu analisa mendalam untuk mencari penyebab ini. Selanjutnya dengan menggunakan analisa regresi, dicari koefisien hubungan antara NO sebagai variabel terikat (Y), dan NO₂ dan O₃ sebagai variabel bebas (x₁, x₂). Hipotesisnya adalah, koefisien NO₂ dan O₃ dalam laju pembentukan NO antar SUF haruslah mirip, atau tidak berbeda jauh karena proses fotokimia bersifat universal antara satu daerah dengan daerah lain. Jika koefisien berbeda jauh, maka data kualitas udara dapat dipertanyakan.

Tabel 4. 1 Koefisien NO, NO₂ dan O₃ SUF 1

Koefisien	Estimate	t value
Intercept	1,86	16,52
NO ₂	0,30	45,16
O ₃	-0,02	-24,05

Tabel 4. 2 Koefisien NO, NO₂ dan O₃ SUF 6

Koefisien	Estimate	t value
Intercept	2,68	23,10
NO ₂	0,40	104,86
O ₃	-0,02	-16,88

Tabel 4. 3 Koefisien NO, NO₂ dan O₃ SUF 7

Koefisien	Estimate	t value
Intercept	24,85	102,36
NO ₂	0,12	16,97
O ₃	-0,07	-22,42

Berdasarkan Tabel 4.1 hingga 4.3 dapat diketahui koefisien hubungan antara NO, NO₂ dan O₃. Pada SUF 1 konsentrasi NO₂ dapat meningkatkan 0,3 kali konsentrasi intercept (NO). Konsentrasi O₃ dapat menurunkan 0,02 kali konsentrasi NO. Pada SUF 6 konsentrasi NO₂ dapat meningkatkan 0,4 kali konsentrasi intercept (NO). Konsentrasi O₃ dapat menurunkan 0,02 kali konsentrasi NO. Pada SUF 7 konsentrasi NO₂ dapat meningkatkan 0,12 kali konsentrasi intercept (NO). Konsentrasi O₃ dapat menurunkan 0,07 kali konsentrasi NO.

Koefisien NO₂ dan O₃ dalam laju pembentukan NO antar SUF dapat dikatakan mirip, atau tidak berbeda jauh. Hal ini mendukung pernyataan bahwa reaksi yang terjadi antara NO, NO₂ dan O₃ merupakan reaksi fotokimia. Selain itu hasil di atas juga menunjukkan bahwa hasil pola O₃ di atas adalah valid.

Kesetimbangan massa dari reaksi fotokimia didapatkan dari laju persamaan (1) (2) dan (3).

$$\text{Laju} = k_1[\text{NO}_2] \quad (4)$$

K_1 merupakan koefisien laju reaksi dari fotolisis NO₂ dalam satuan waktu (/menit). Pada kondisi *steady state*, perubahan konsentrasi tidak terjadi lagi sehingga $d[C]/dt = \text{nol}$. Dimana C merupakan konsentrasi.

$$d[\text{NO}]/dt = -k_1[\text{NO}_2] + k_3[\text{NO}][\text{O}_3] \quad (5)$$

k_3 merupakan koefisien laju reaksi dari reaksi antara NO dan O₃.

Jika $d[\text{NO}]/dt = 0$

$$\text{Maka, } k_1[\text{NO}_2] = k_3[\text{NO}][\text{O}_3] \quad (6)$$

$$[\text{O}_3] = k_1[\text{NO}_2]/k_3[\text{NO}] \quad (7)$$

$$k_3/k_1 = [\text{NO}_2]/[\text{NO}][\text{O}_3] \quad (8)$$

berdasarkan Han (2011) yang dilakukan di Cina, nilai k_1/k_3 antara 0,176 dan 5,513 ppb. Nilai k_1/k_3 bisa berbeda setiap daerah yang disebabkan faktor geografis.

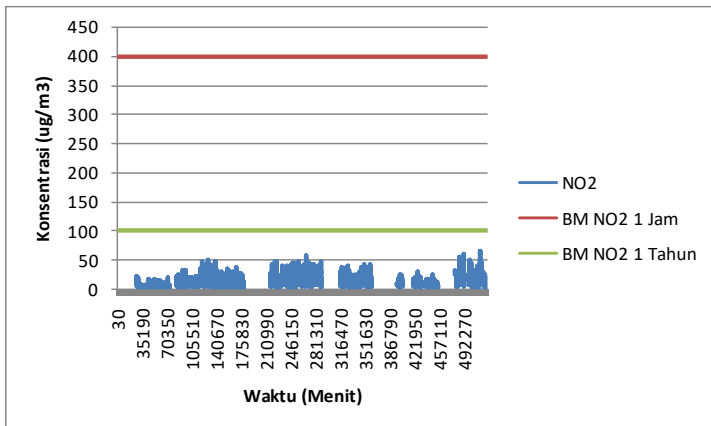
4.3 Evaluasi Konsentrasi Pencemar NO₂, NO_x dan O₃

Evaluasi terhadap konsentrasi pencemar di Kota Surabaya dilakukan berdasarkan Pergub Jatim No 10 Tahun 2009 dan PP No 41 Tahun 1999.

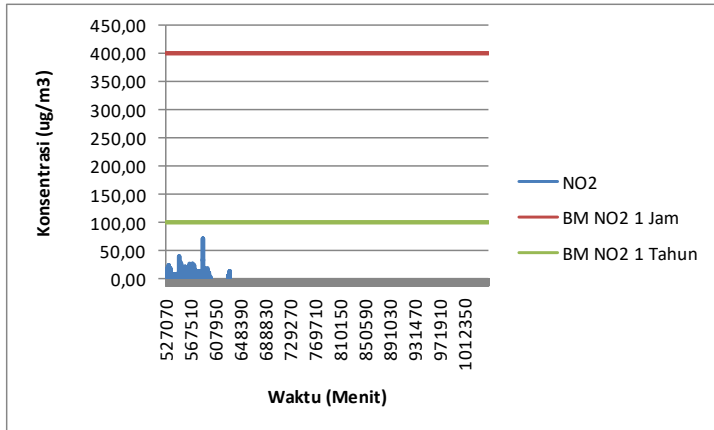
4.3.1 Evaluasi Konsentrasi Pencemar NO₂

Evaluasi terhadap konsentrasi pencemar NO₂ dilakukan berdasarkan Peraturan Pemerintah No 41/1999. Baku mutu NO₂ untuk waktu 1 jam adalah 400 µg/Nm³ sedangkan baku mutu NO₂ untuk waktu 1 tahun adalah 100 µg/Nm³. Evaluasi terhadap konsentrasi NO₂ dapat dilihat pada Gambar 4.17 hingga Gambar 4.25

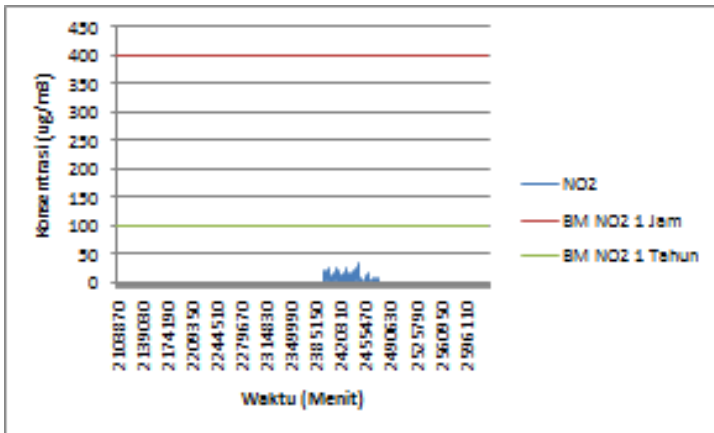
Grafik yang dipaparkan untuk SUF 1 parameter NO₂ hanya tahun 2012, 2013 dan 2016 karena data pada tahun 2014 dan 2015 memiliki nilai – atau tidak memiliki nilai.



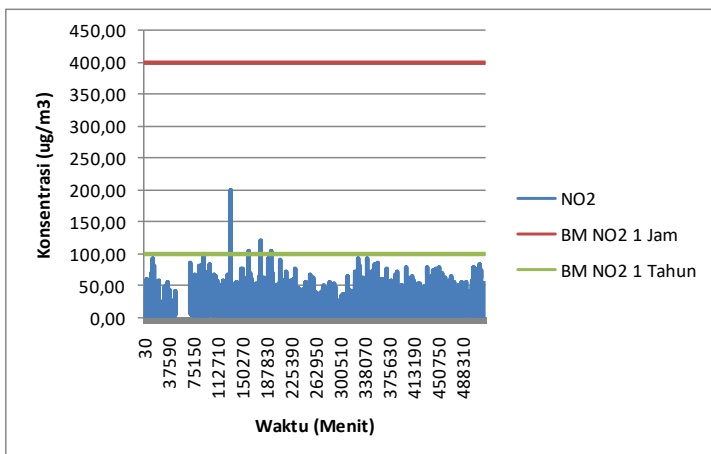
Gambar 4. 17 SUF 1 Parameter NO₂Tahun 2012



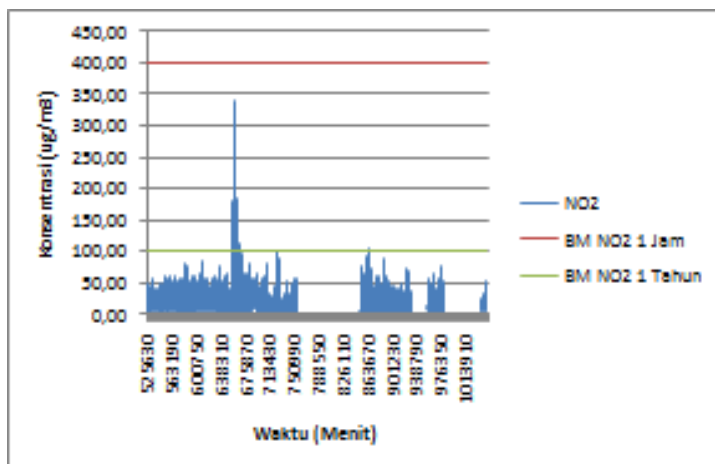
Gambar 4. 18 SUF 1 Parameter NO₂ Tahun 2013



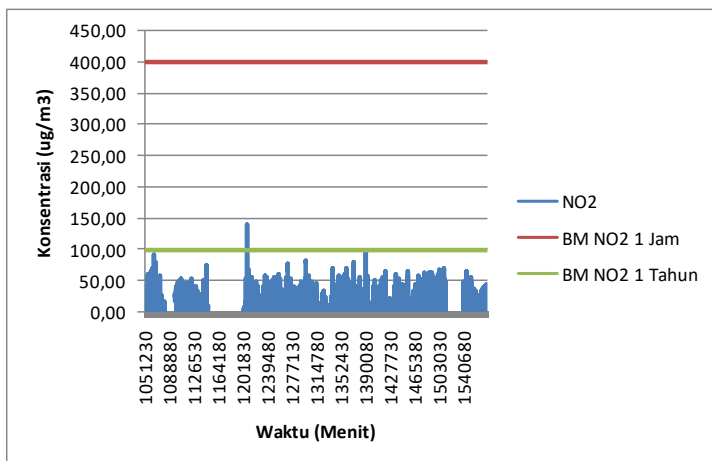
Gambar 4. 19 SUF 1 Parameter NO₂ Tahun 2016



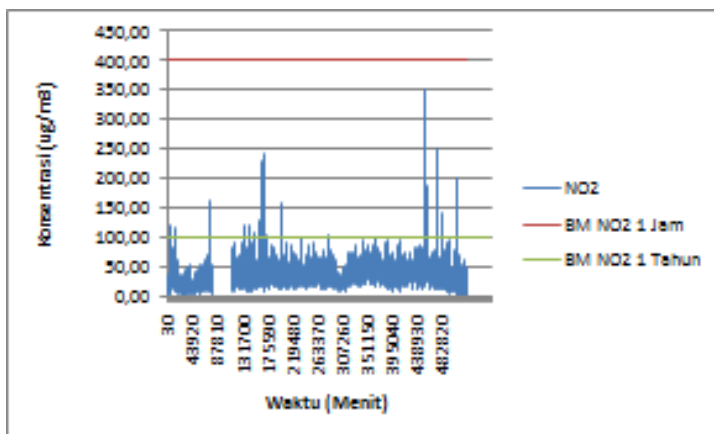
Gambar 4. 20 SUF 6 Parameter NO₂ Tahun 2014



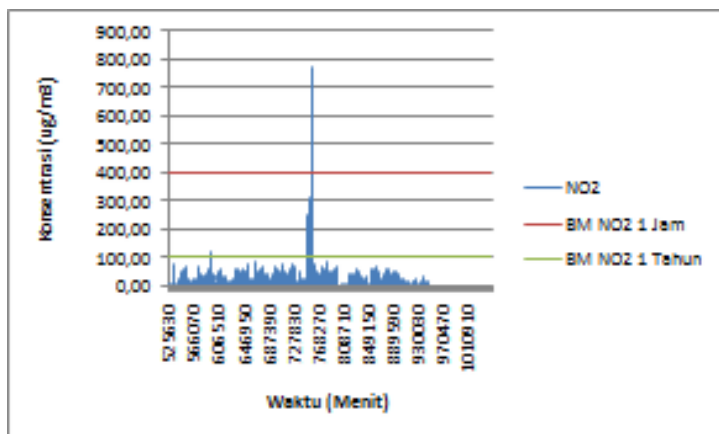
Gambar 4. 21 SUF 6 Parameter NO₂ Tahun 2015



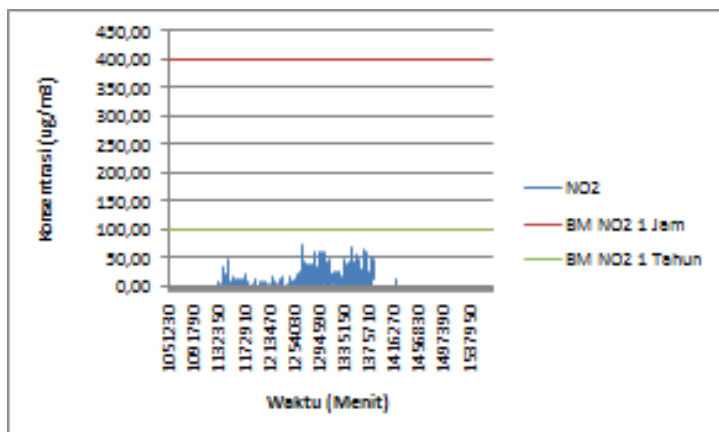
Gambar 4. 22 SUF 6 Parameter NO₂ Tahun 2016



Gambar 4. 23 SUF 7 Parameter NO₂ Tahun 2014



Gambar 4. 24 SUF 7 Parameter NO₂ Tahun 2015



Gambar 4. 25 SUF 7 Parameter NO₂ Tahun 2016

Secara keseluruhan konsentrasi NO₂ berdasarkan PP NO 41/1999 memenuhi baku mutu. Pada SUF 6 terdapat data yang melebihi baku mutu jika di bandingkan dengan PP No 41/1999 dengan pengukuran 1 tahun. Terdapat 24 data atau 0,06% data yang melebihi baku mutu.

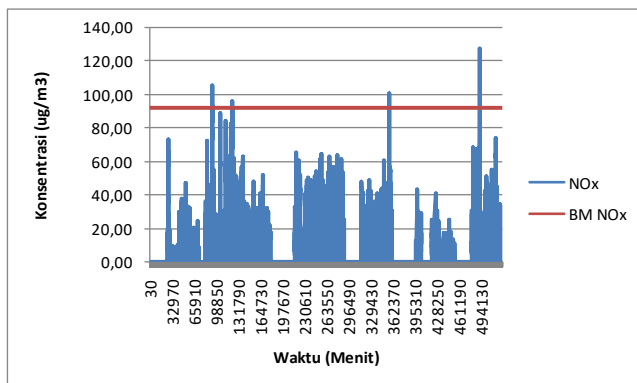
Berdasarkan PP NO 41/1999 pengukuran 1 jam pada SUF 7 terdapat satu hari yang melebihi baku mutu yaitu pada

tanggal 11 juni 2015. Konsentrasi pada hari tersebut adalah $776\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, $406\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan $428\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Masing-masing konsentrasi tersebut terjadi pada pukul 10.30, 12.30 dan 17.30. Sedangkan berdasarkan pengukuran 1 Tahun terdapat 95 data atau 0,23% data yang melebihi baku mutu. Kondisi udara disekitar SUF 6 relatif lebih fluktuatif dibandingkan dengan SUF 1 dan SUF 7.

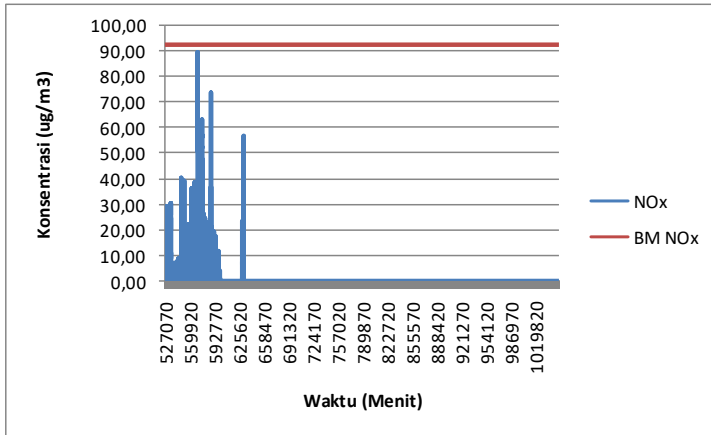
4.3.2 Evaluasi Konsentrasi Pencemar NO_x

Konsentrasi NO tidak tercantum pada baku mutu berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 maupun PP No 41/1999. Oleh sebab itu evaluasi dilakukan menggunakan konsentrasi NO_x . “Kira-kira 90-95% dari nitrogen oksida yang dihasilkan dalam proses pembakaran adalah dalam bentuk Oksida nitrat (NO), oksida nitrogen lainnya dapat terbentuk, terutama Nitrogen dioksida (NO_2). Sehingga para ahli polusi udara merujuk untuk NO dan NO_2 sebagai NO_x ” (Vallero, 2008). Sehingga konsentrasi NO_x didapatkan dari penjumlahan konsentrasi NO dan NO_2 .

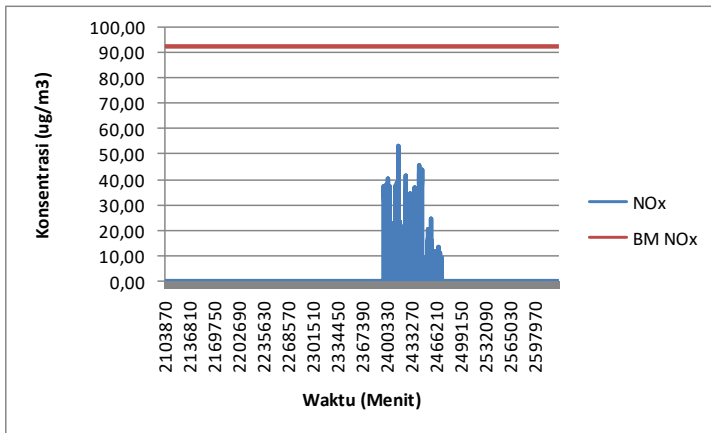
Evaluasi terhadap konsentrasi pencemar NO_x dilakukan berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No 10 tahun 2009 dengan waktu pengukuran selama 24 jam. Baku mutu NO_x berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 adalah $92,5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Evaluasi terhadap konsentrasi NO_x dapat dilihat pada Gambar 4.26 hingga Gambar 4.34.



Gambar 4. 26 SUF 1 Parameter NO_x Tahun 2012

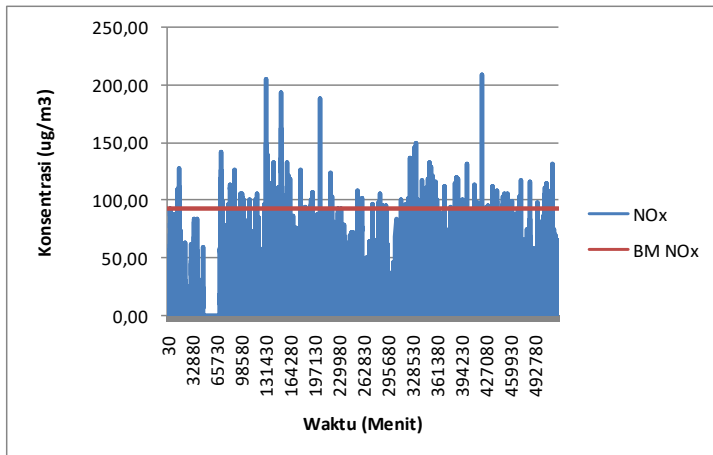


Gambar 4. 27 SUF 1 Parameter NO_x Tahun 2013

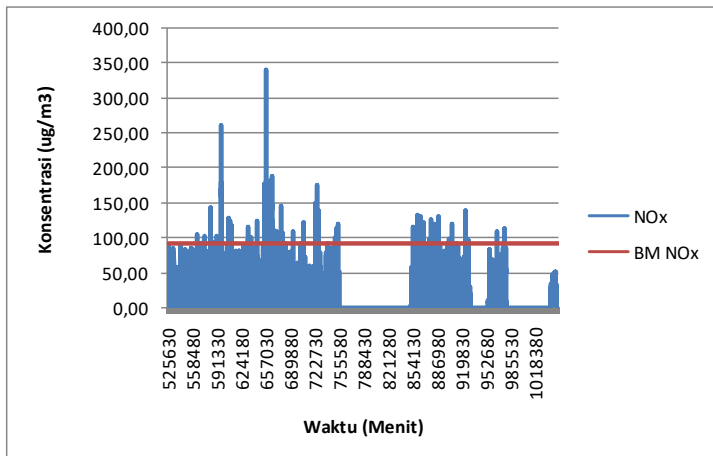


Gambar 4. 28 SUF 1 Parameter NO_x Tahun 2016

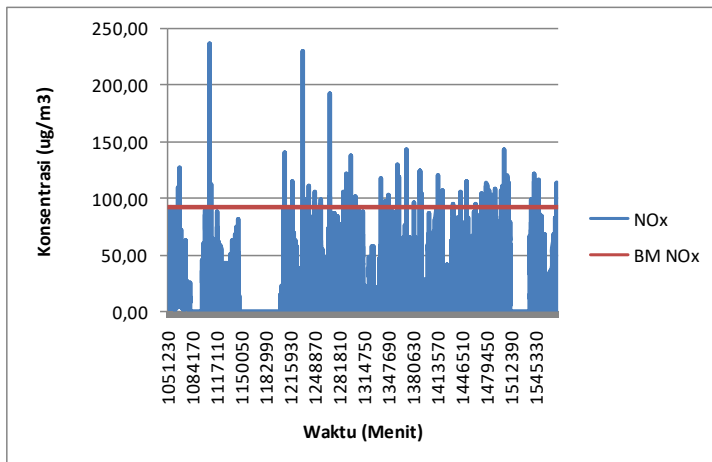
Grafik yang dipaparkan untuk SUF 1 parameter NO_x hanya tahun 2012, 2013 dan 2016 karena data NO₂ dan NO pada tahun 2014 dan 2015 memiliki nilai – atau tidak memiliki nilai.



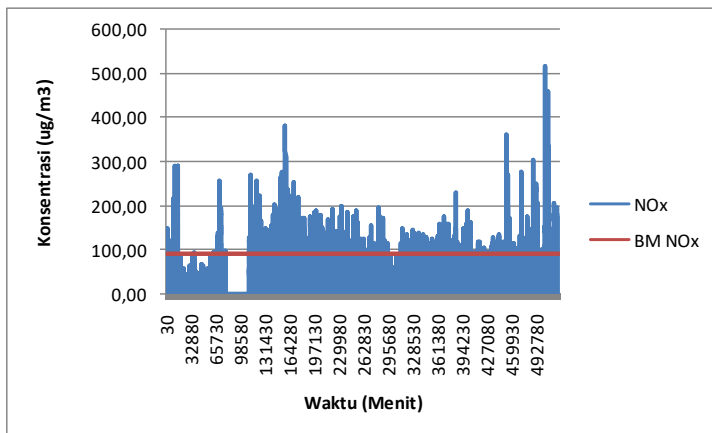
Gambar 4. 29 SUF 6 Parameter NO_x Tahun 2014



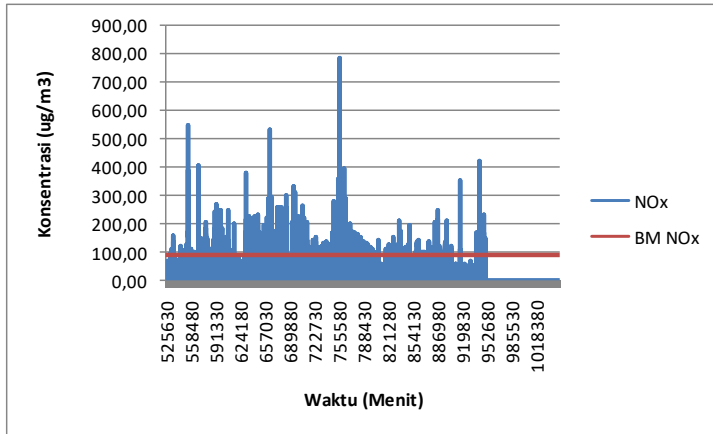
Gambar 4. 30 SUF 6 Parameter NO_x Tahun 2015



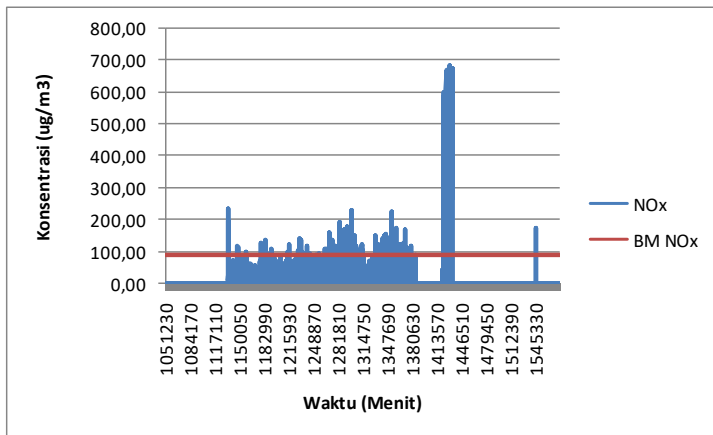
Gambar 4. 31 SUF 6 Parameter NO_x Tahun 2016



Gambar 4. 32 SUF 7 Parameter NO_x Tahun 2014



Gambar 4. 33 SUF 7 Parameter NO_x Tahun 2015



Gambar 4. 34 SUF 7 Parameter NO_x Tahun 2016

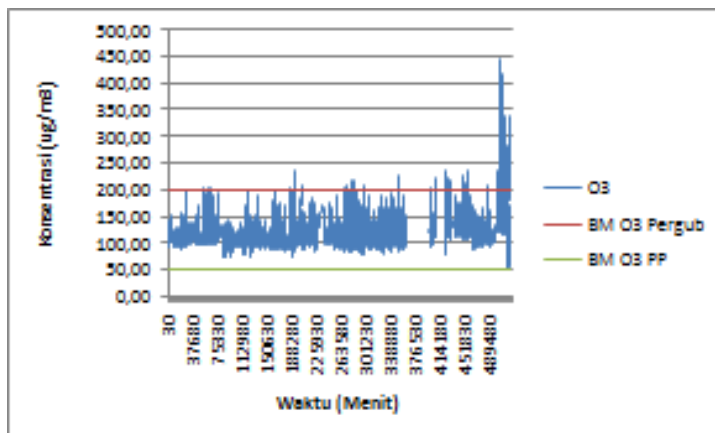
Secara keseluruhan konsentrasi NO_x banyak yang melebihi baku mutu. Terutama pada SUF 7 banyak yang melebihi baku mutu. SUF 1 relatif sedikit yang melebihi baku mutu.

SUF 1 ada 16 data atau 0,1% data yang melebihi baku mutu. Pada SUF 6 ada 573 data atau 1,4% data yang melebihi

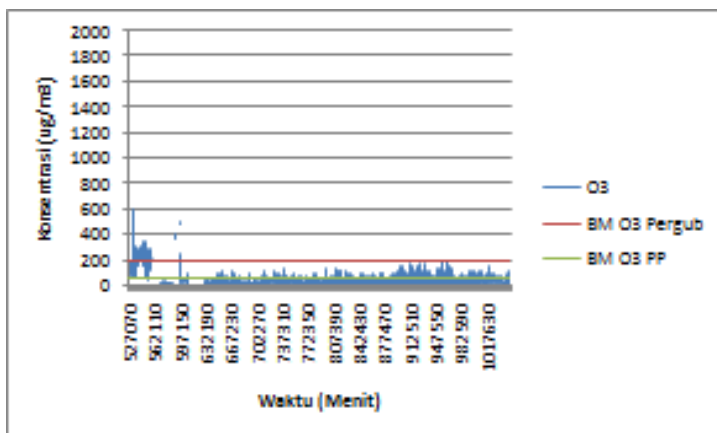
baku mutu. Sedangkan SUF 7 terdapat 3.620 data atau 8,75% data yang melebihi baku mutu. Dari hasil evaluasi tersebut kondisi untuk di daerah SUF 1 dan SUF 6 dapat dipertahankan. Namun untuk SUF 7 harus dilakukan suatu langkah untuk menjaga kualitas udara menjadi lebih baik. Mengingat pula bahwa SUF 7 berada di kebonsari yang dekat dengan tol, maka hal ini dapat berkorelasi dengan kendaraan yang melintas di daerah tersebut.

4.3.3 Evaluasi Konsentrasi Pencemar O₃

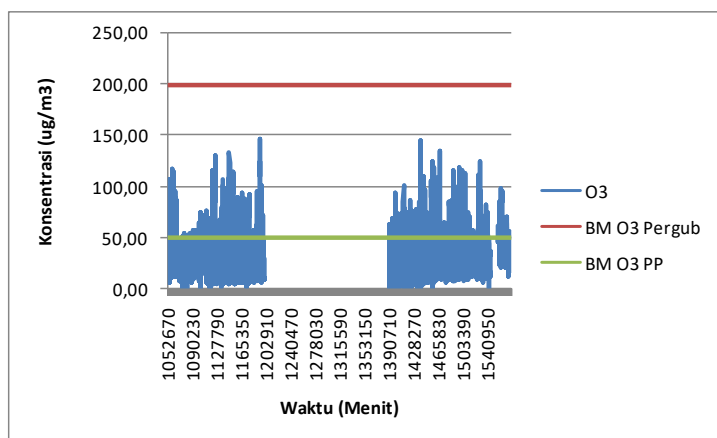
Evaluasi terhadap konsentrasi pencemar O₃ dilakukan berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No 10 tahun 2009 dengan waktu pengukuran 1 jam. Namun demikian, hasil juga dibandingkan dengan baku mutu PP No 41/1999 dengan waktu pengukuran 1 tahun. Baku mutu O₃ berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 adalah 200 µg/Nm³ (1 jam) dan berdasarkan PP No 41/1999 adalah 50 µg/Nm³. Evaluasi terhadap konsentrasi O₃ dapat dilihat pada Gambar 4.35 hingga Gambar 4.45



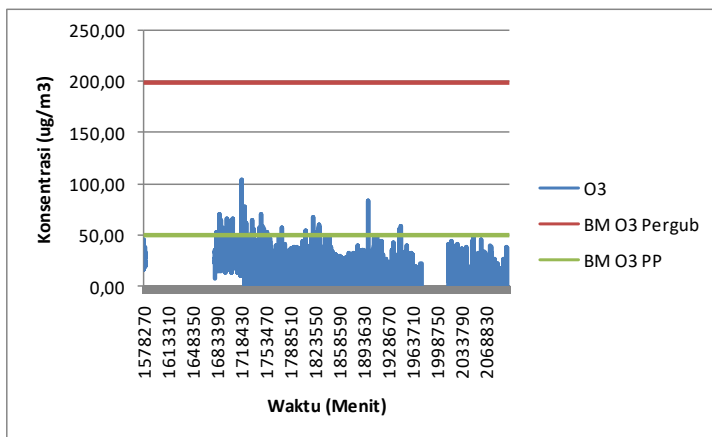
Gambar 4. 35 SUF 1 Parameter O₃ Tahun 2012



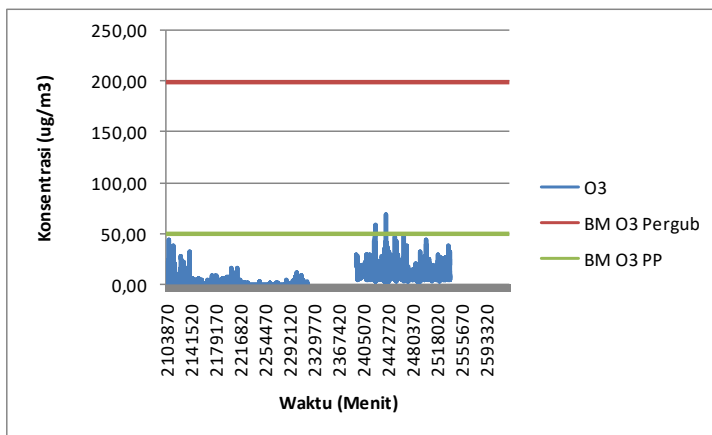
Gambar 4. 36 SUF 1 Parameter O₃ Tahun 2013



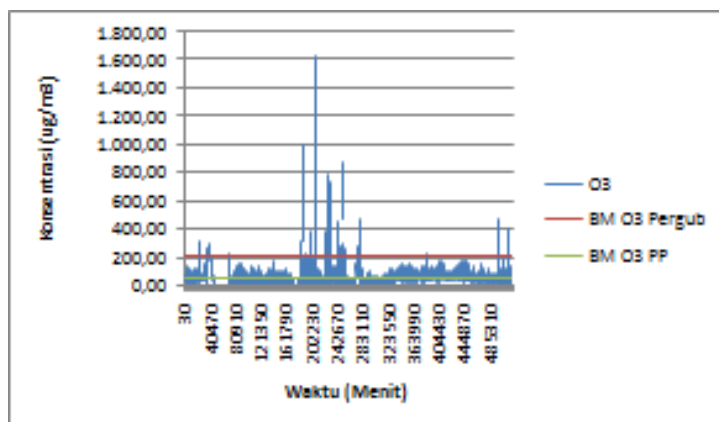
Gambar 4. 37 SUF 1 Parameter O₃ Tahun 2014



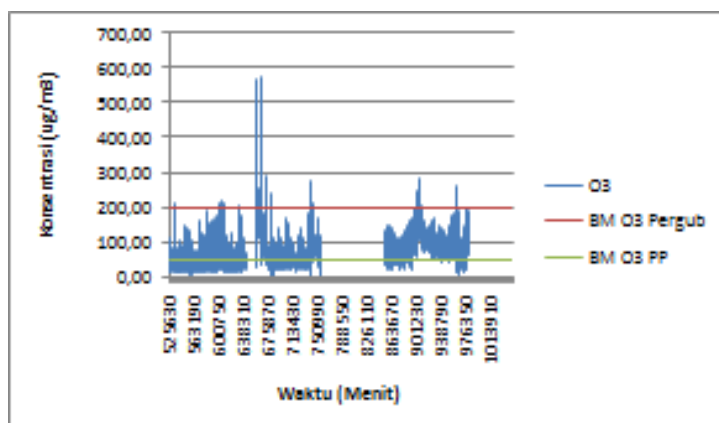
Gambar 4. 38 SUF 1 Parameter O₃ Tahun 2015



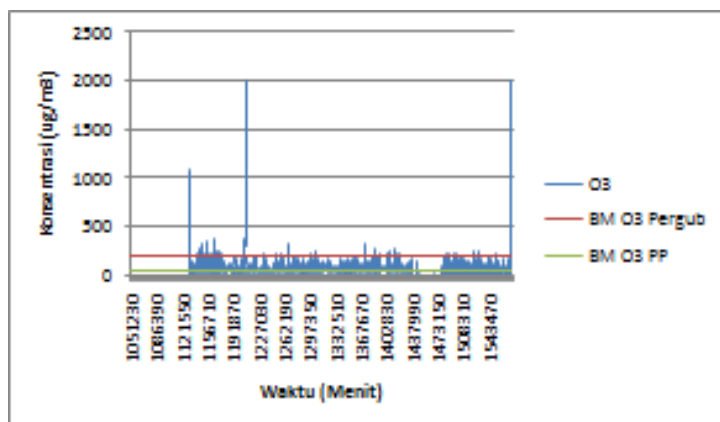
Gambar 4. 39 SUF 1 Parameter O₃ Tahun 2016



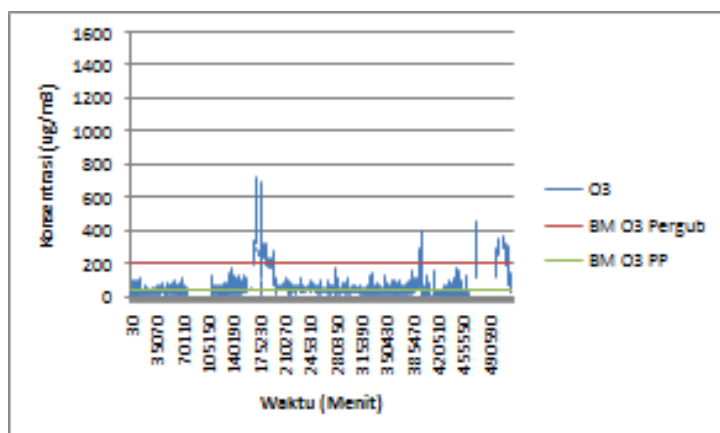
Gambar 4. 40 SUF 6 Parameter O₃ Tahun 2014



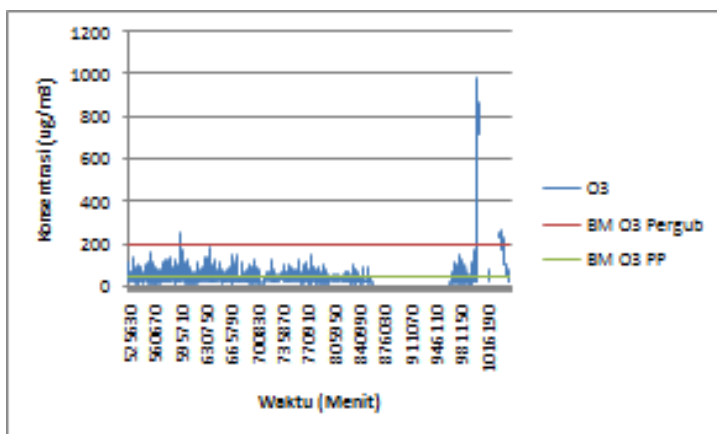
Gambar 4. 41 SUF 6 Parameter O₃ Tahun 2015



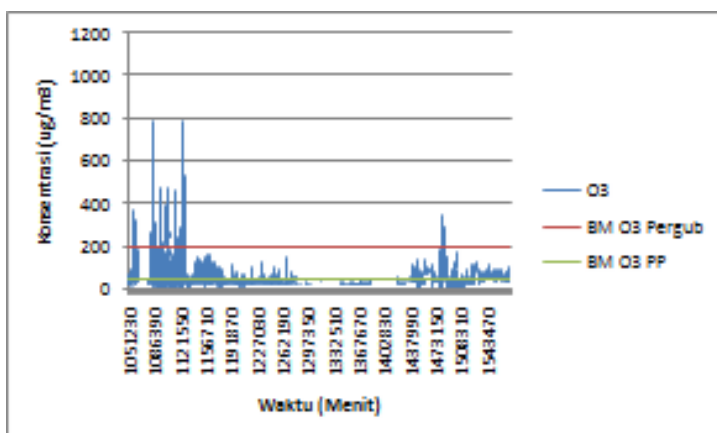
Gambar 4. 42 SUF 6 Parameter O₃ Tahun 2016



Gambar 4. 43 SUF 7 Parameter O₃ Tahun 2014



Gambar 4. 44 SUF 7 Parameter O₃ Tahun 2015



Gambar 4. 45 SUF 7 Parameter O₃ Tahun 2016

Berdasarkan Gambar 4.35 hingga 4.45 mayoritas konsentrasi O₃ berada dibawah baku mutu dan dapat dikatakan aman. Pada SUF 1 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terdapat 645 data atau 1,01% data yang melebihi baku mutu. Sedangkan SUF 1 berdasarkan PP No 41/1999 terdapat 18.712 data atau 29,43% data yang melebihi baku mutu.

Berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009, pada SUF 6 terdapat 735 data atau 1,92% data melebihi baku mutu. Sedangkan berdasarkan PP No 41/1999 terdapat 21.119 data atau 55,13% data yang melebihi baku mutu.

SUF 7 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terdapat 1.239 data atau 3,44% data yang melebihi baku mutu. Sedangkan berdasarkan PP No 41/1999 terdapat 10.013 data atau 27,88% data yang melebihi baku mutu.

SUF 7 memiliki yang persen data terbesar yang melebihi baku mutu. Untuk konsentrasi NO_2 dan NO_x pada SUF 7 juga yang paling besar persen data yang melebihi baku mutu. Maka secara keseluruhan untuk daerah sekitar SUF 7 atau kebonsari harus diperbaiki.

Secara ringkas kejadian yang melebihi baku mutu dapat di lihat pada Tabel 4.4

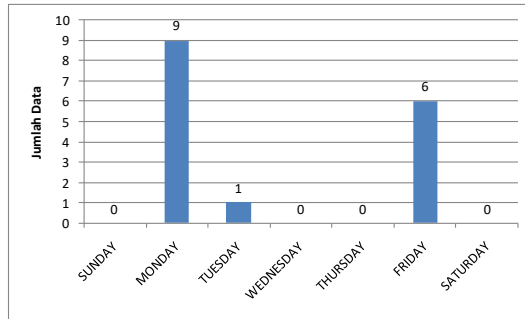
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Jumlah Data yang Melebihi Baku Mutu

SUF	Parameter				
	NO_2		NO_x	O_3	
	PP 41/1999 (1Jam)	PP 41/1999 (1Tahun)	Pergub Jatim 10/2009 (24Jam)	Pergub Jatim 10/2009 (1Tahun)	PP 41/1999 (1Tahun)
1	0	0	16	645	18.712
6	0	24	573	735	21.119
7	3	95	3.620	1.239	10.013

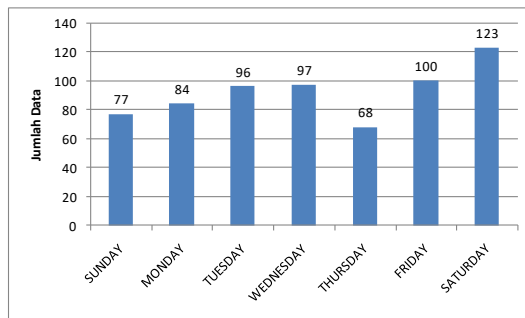
4.3.4 Evaluasi Stasiun Pemantau Udara (SUF) 1

Stasiun pemantau udara (SUF) 1 terletak di Taman Prestasi. Dari hasil evaluasi subbab 4.3.1 hingga 4.3.4 data yang melebihi baku mutu yakni 19.373 data. Data yang melebihi baku mutu terdiri dari 16 data NO_x , 645 data O_3 berdasarkan Pergub Jatim dan 18.712 data O_3 berdasarkan PP No 41/1999. Rincian

hari, jam dan pengaruh arah angin dapat dilihat pada Gambar 4.46 hingga Gambar 4.54

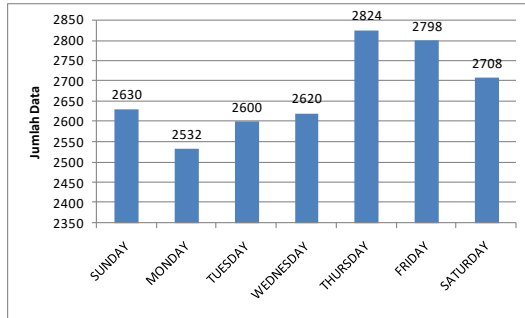


Gambar 4. 46 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 1

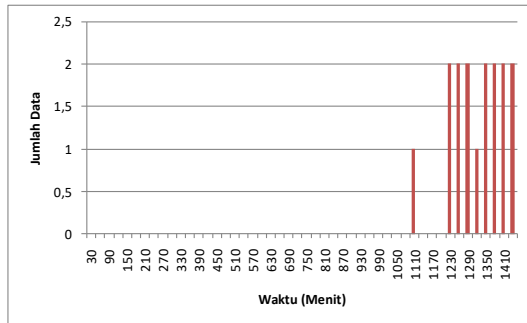


Gambar 4. 47 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 1

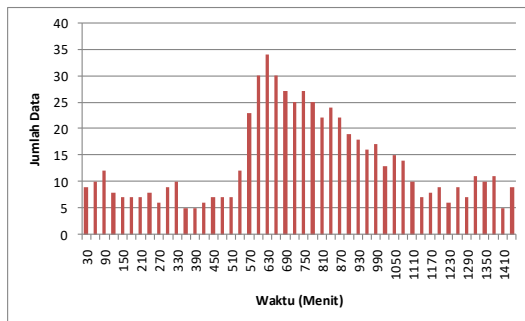
Gambar 4.46 hingga Gambar 4.48 menggambarkan hari dominan yang melebihi baku mutu. Hari dominan parameter NO_x terjadi pada Hari Senin. Hari dominan parameter O₃ berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terjadi pada Hari Sabtu. Hari dominan parameter O₃ berdasarkan PP No 41/1999 terjadi pada Hari Kamis.



Gambar 4. 48 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan PP 40/1999 pada SUF 1



Gambar 4. 49 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 1

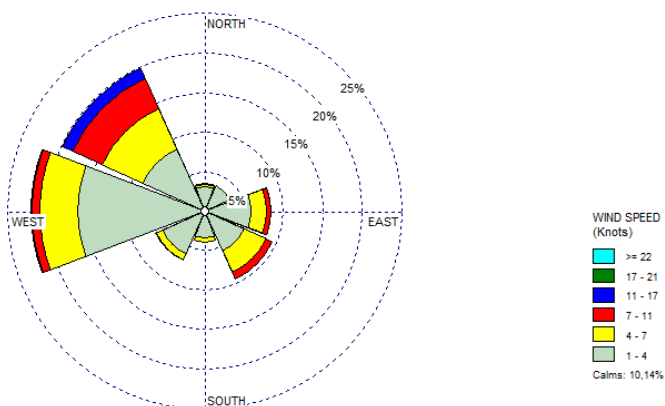


Gambar 4. 50 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 1

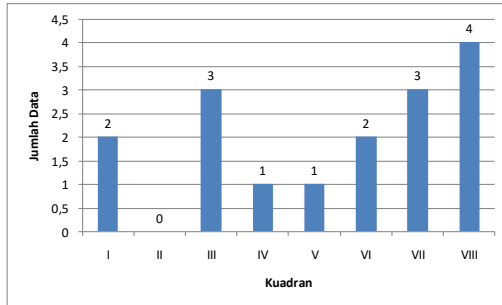


Gambar 4. 51 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan PP 40/1999 pada SUF 1

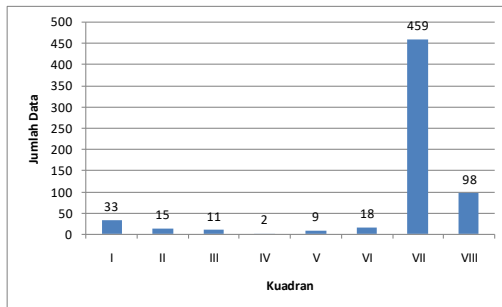
Gambar 4.49 hingga Gambar 4.51 menggambarkan jam dominan yang melebihi baku mutu. Jam dominan parameter NO_x terjadi pada malam hari pukul 20.30 hingga 23.30. Jam dominan parameter O₃ berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terjadi pada siang hari pukul 10.30. Jam dominan parameter O₃ berdasarkan PP No 41/1999 terjadi pada siang hari pukul 10.30 hingga pukul 12.30.



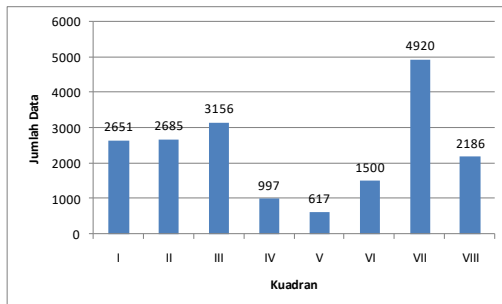
Gambar 4. 52 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF 1 Taman Prestasi



Gambar 4. 53 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 1



Gambar 4. 54 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 1



Gambar 4. 55 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 40/1999 pada SUF 1



Gambar 4. 57 Stasiun Monitoring Udara Ambien di Taman Prestasi

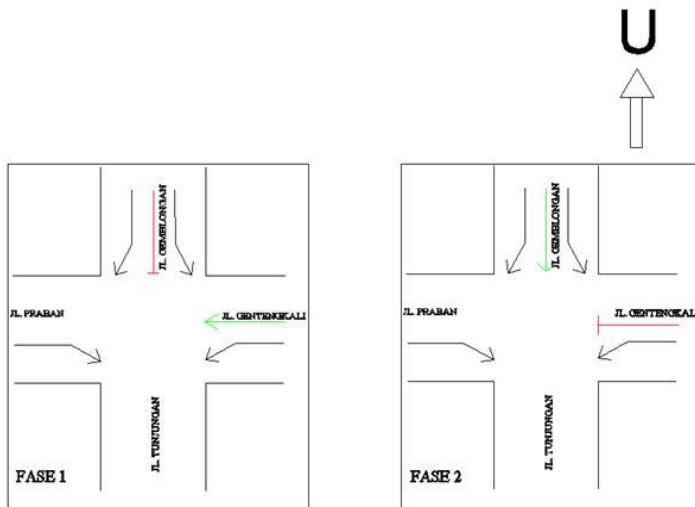


Gambar 4. 58 Kondisi Jalan Tunjungan di Sisi Barat SUF 1 Taman Prestasi

“Derajat kejenuhan Jalan Tunjungan pada pagi hari adalah 0,71. Pada siang dan sore hari derajat kejenuhan Jalan Tunjungan adalah 0,866 dan 0,855” (Safitri dan Prasetyowati, 2013). Derajat kejenuhan rata-rata lebih dari 0,75 oleh sebab itu diperlukan rekayasa lalu lintas. Menurut Safitri dan Prasetyowati (2013) rekayasa yang sesuai adalah perubahan fase dan pengalihan arus pergerakan. Fase pergerakan menggunakan 2 fase.

Fase 1 pergerakan lurus (ST) dari Jl. Genteng Kali menuju Jl. Praban, untuk pergerakan lurus (ST) dari Jl. Praban yang akan menuju ke Jl. Genteng Kali tidak diperbolehkan,

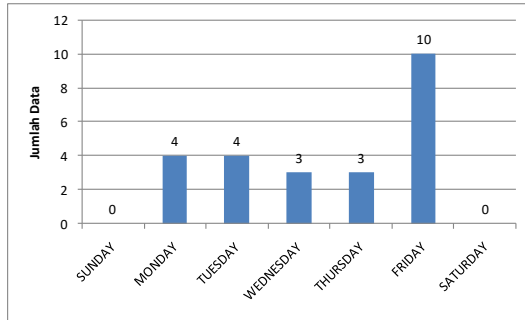
dipasang rambu dilarang belok kanan dari Jl. Blauran ke Jl. Praban yang menuju Jl. Genteng Kali dan rambu dilarang lurus dari Jl. Kranggan ke Jl. Praban yang menuju Jl. Genteng Kali, dimana akan dialihkan melewati Jl. Bubutan, Jl. Penghela, Jl. Pahlawan, Jl. Gemblongan kemudian belok kiri menuju Jl. Genteng Kali. Fase 2 pergerakan lurus (ST) dari Jl. Gemblongan menuju Jl. Tunjungan, hanya untuk Jl. Praban yang akan menuju ke Jl. Genteng Kali.



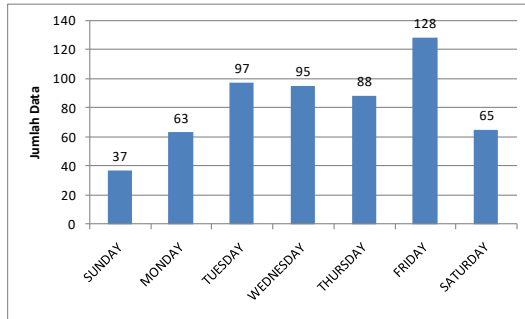
Gambar 4. 59 Pengaturan Fase Simpang Bersinyal 2 Fase

4.3.5 Evaluasi Stasiun Pemantau Udara (SUF) 6

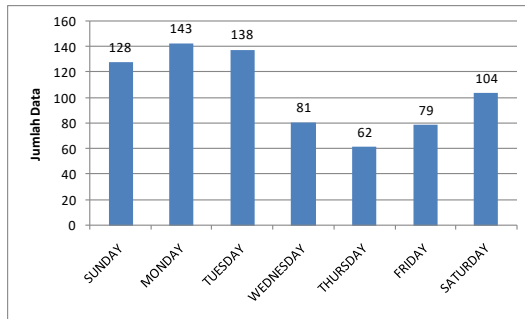
Stasiun pemantau udara (SUF) 6 terletak di Wonorejo. Dari hasil evaluasi subbab 4.3.1 hingga 4.3.4 data yang melebihi baku mutu yakni 22.451 data. Data yang melebihi baku mutu terdiri dari 24 data NO_2 pengukuran 1 tahun, 573 data NO_x , 735 data O_3 berdasarkan Pergub Jatim dan 21.119 data O_3 berdasarkan PP No 41/1999. Rincian hari, jam dan pengaruh arah angin dapat dilihat pada Gambar 4.60 hingga Gambar 4.72



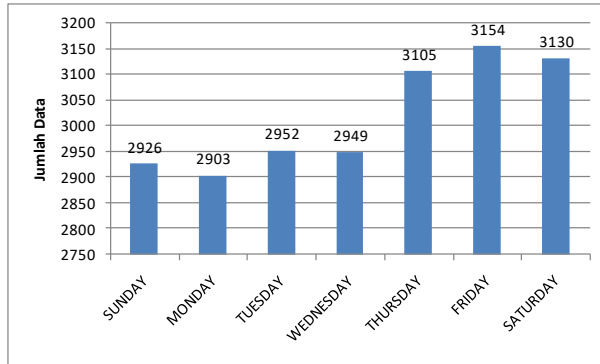
Gambar 4. 60 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO₂ Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 6



Gambar 4. 61 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NOx pada SUF 6

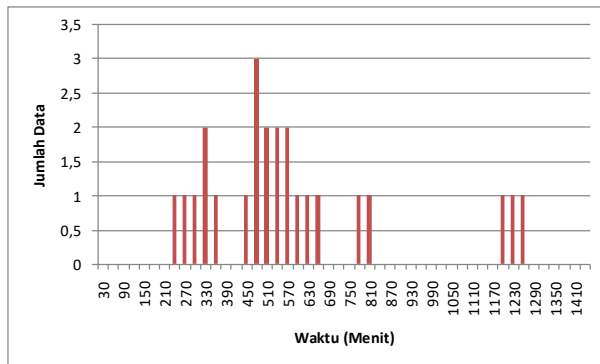


Gambar 4. 62 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 6

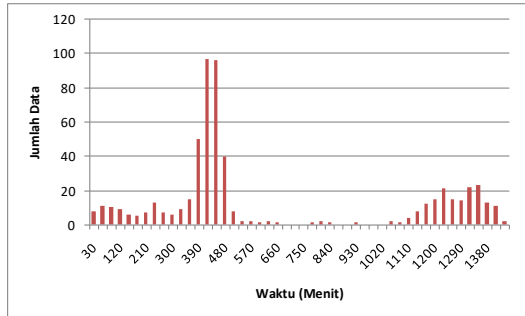


Gambar 4. 63 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 6

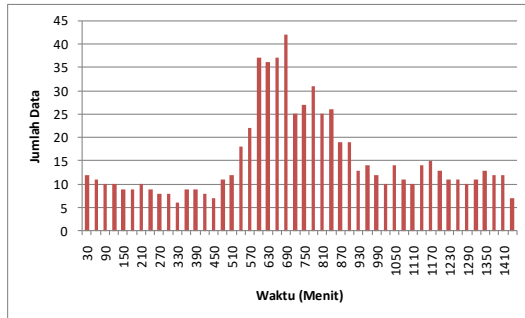
Gambar 4.60 hingga Gambar 4.63 menggambarkan hari dominan yang melebihi baku mutu. Hari dominan parameter NO_2 terjadi pada Hari Jum'at. Hari dominan parameter NO_x terjadi pada Hari Jum'at. Hari dominan parameter O_3 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terjadi pada Hari Senin. Hari dominan parameter O_3 berdasarkan PP No 41/1999 terjadi pada Hari Jum'at.



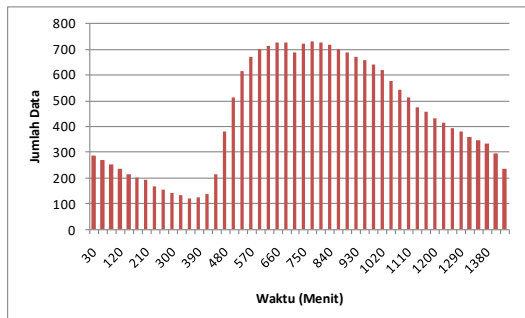
Gambar 4. 64 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 6



Gambar 4. 65 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NOx pada SUF 6

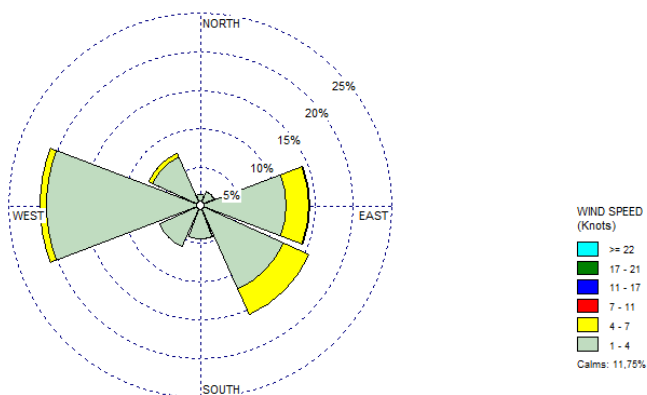


Gambar 4. 66 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 6

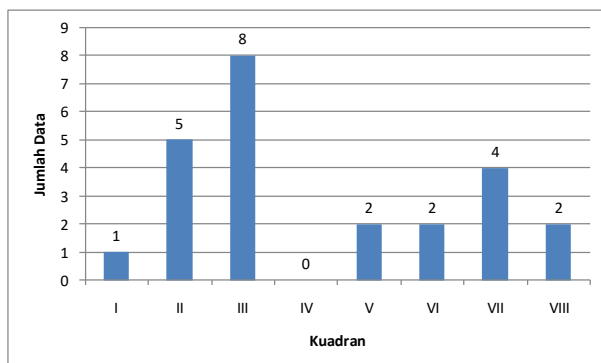


Gambar 4. 67 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 6

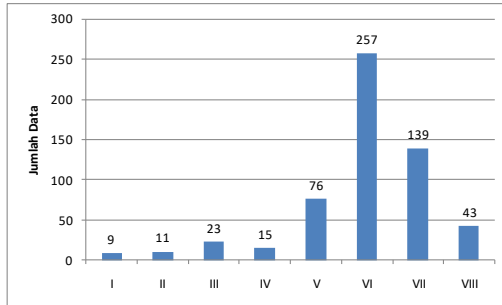
Gambar 4.64 hingga Gambar 4.67 menggambarkan jam dominan yang melebihi baku mutu. Jam dominan parameter NO_2 pengukuran 1 tahun terjadi pada pagi hari pukul 8.00. Jam dominan parameter NO_x terjadi pada pagi hari pukul 7.00. Jam dominan parameter O_3 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terjadi pada siang hari pukul 11.30. Jam dominan parameter O_3 berdasarkan PP no 41/1999 terjadi pada siang hari pukul 11.00 hingga pukul 13.30.



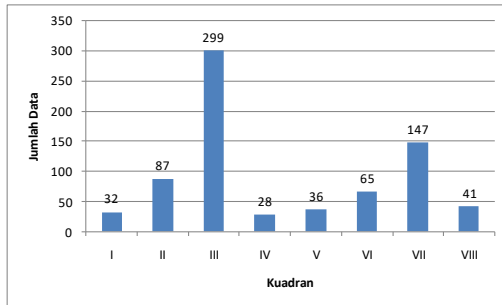
Gambar 4. 68 Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF 6 Wonorejo



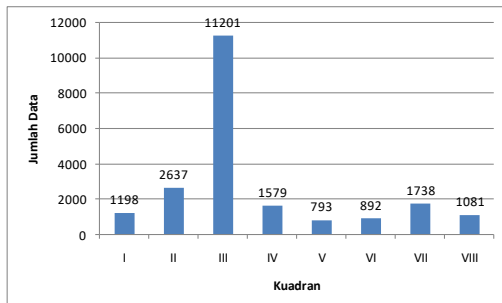
Gambar 4. 69 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 6



Gambar 4. 70 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 6



Gambar 4. 71 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 6



Gambar 4. 72 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 6

Gambar 4.67 menggambarkan pola distribusi arah dan kecepatan angin rata-rata selama 3 tahun. Arah angin dominan dari arah barat. Sedangkan Gambar 4.68 hingga Gambar 4.71 menggambarkan arah angin dominan yang mempengaruhi melebihi baku mutu. Arah angin dominan parameter NO_2 pengukuran 1 tahun terjadi pada kuadran III ($90^\circ - 135^\circ$ atau timur). Arah angin dominan parameter NO_x terjadi pada kuadran VI ($225^\circ - 270^\circ$ atau barat daya). Arah angin dominan parameter O_3 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terjadi pada kaudran III ($90^\circ - 135^\circ$ atau timur). Arah angin dominan parameter O_3 berdasarkan PP No 41/1999 terjadi pada kuadran III ($90^\circ - 135^\circ$ atau timur). Dari ke-empat gambar tersebut dapat dikatakan bahwa arah angin yang mempengaruhi melebihi baku mutu adalah angin dari arah timur. Sesuai dengan Gambar 4.73 sisi timur wonorejo terdapat pemukiman dan juga pasar. Melihat pada alur pola konsentrasinya maka sebaiknya pada sisi timur kebun bibit wonorejo tidak diperkenankan untuk menambah jumlah pemukiman.



Gambar 4. 73 Lokasi SUF 6 Wonorejo Kota Surabaya



Gambar 4. 74 Stasiun Monitoring Udara Ambien di Kebun Bibit Wonorejo



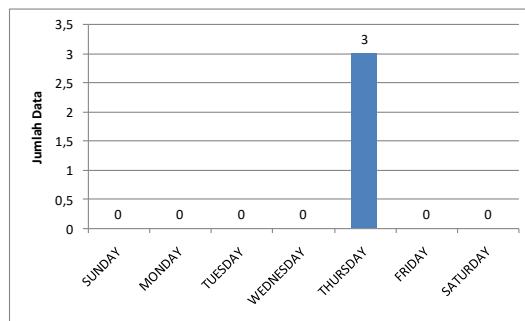
Gambar 4. 75 Pasar di Timur SUF 6 Wonorejo



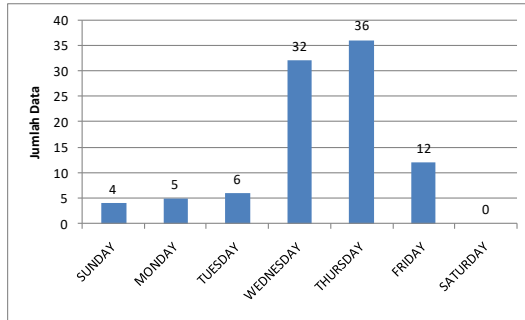
Gambar 4. 76 Pemukiman di Timur Suf 6 Wonorejo

4.3.6 Evaluasi Stasiun Pemantau Udara (SUF) 7

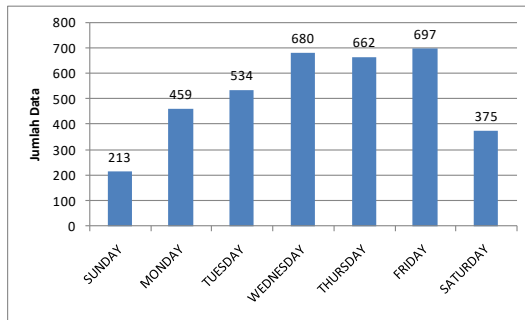
Stasiun pemantau udara (SUF) 7 terletak di Kebonsari. Dari hasil evaluasi subbab 4.3.1 hingga 4.3.4 data yang melebihi baku mutu yakni 14.970 data. Data yang melebihi baku mutu terdiri dari 3 data NO_2 pengukuran 1 jam, 95 data NO_2 pengukuran 1 tahun, 3.620 data NO_x , 1.239 data O_3 berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 dan 10.013 data O_3 berdasarkan PP No 41/1999. Rincian hari, jam dan pengaruh arah angin dapat dilihat pada Gambar 4.77 hingga Gambar 4.92



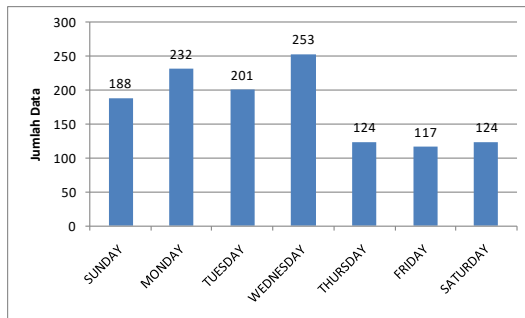
Gambar 4. 77 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Jam pada SUF 7



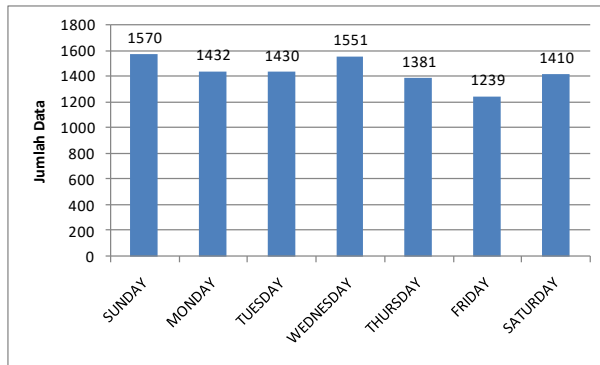
Gambar 4. 78 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO₂ Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 7



Gambar 4. 79 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NOx pada SUF 7

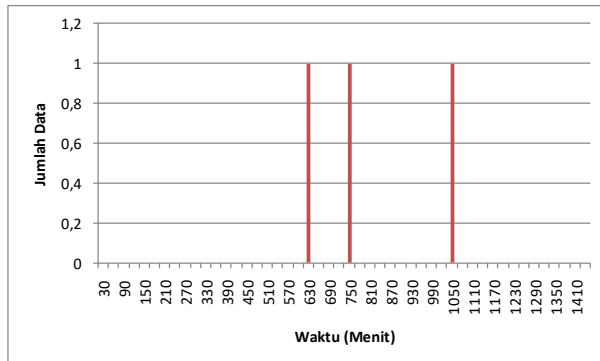


Gambar 4. 80 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 7

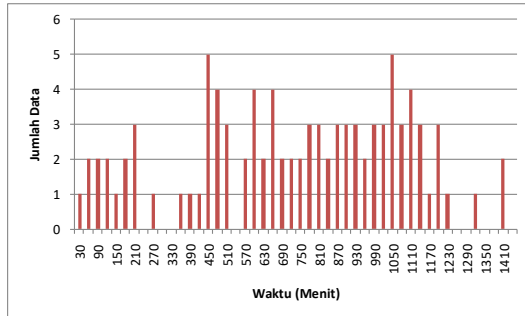


Gambar 4. 81 Grafik Hari Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 7

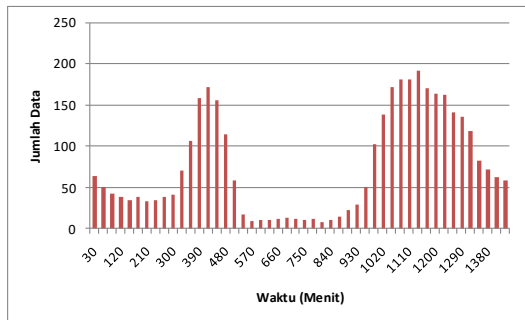
Gambar 4.77 hingga Gambar 4.81 menggambarkan hari dominan yang melebihi baku mutu. Hari dominan parameter NO_2 pengukuran 1 jam terjadi pada Hari Kamis. Hari dominan parameter NO_2 pengukuran 1 tahun terjadi pada Hari Kamis. Hari dominan parameter NO_x terjadi pada Hari Jum'at. Hari dominan parameter O_3 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terjadi pada Hari Rabu. Hari dominan parameter O_3 berdasarkan PP No 41/1999 terjadi pada Hari Minggu.



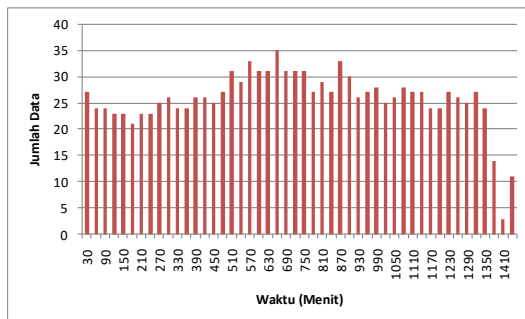
Gambar 4. 82 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Jam pada SUF 7



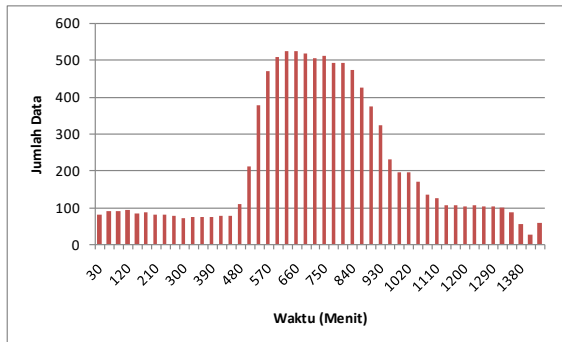
Gambar 4. 83 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 7



Gambar 4. 84 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 7

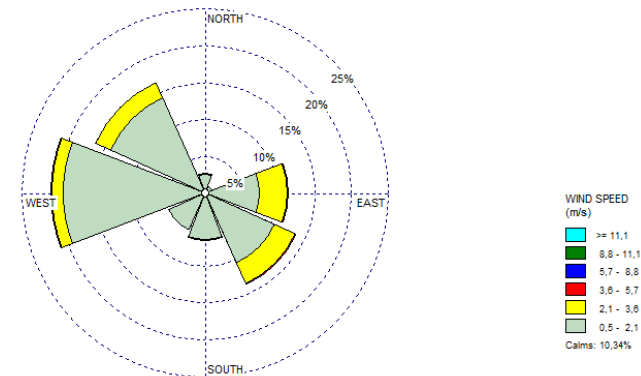


Gambar 4. 85 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 7

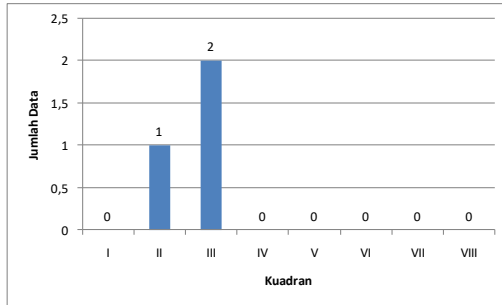


Gambar 4. 86 Grafik Jam Dominan Melebihi Baku Mutu Parameter O_3 Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 7

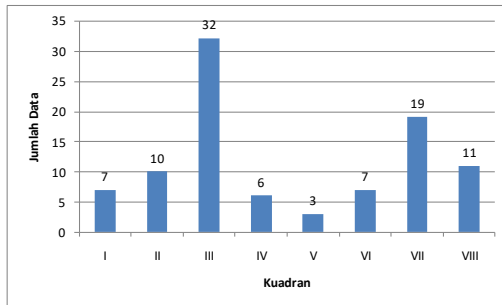
Gambar 4.82 hingga Gambar 4.86 menggambarkan jam dominan yang melebihi baku mutu. Jam dominan parameter NO_2 pengukuran 1 jam terjadi pada siang hari pukul 10.30. Jam dominan parameter NO_2 pengukuran 1 tahun terjadi pada pagi hari pukul 7.30 dan sore hari pukul 17.30. Jam dominan parameter NO_x terjadi pada pagi hari pukul 7.00 dan sore hari pukul 19.00. Jam dominan parameter O_3 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terjadi pada siang hari pukul 11.00. Jam dominan parameter O_3 berdasarkan PP No 41/1999 terjadi pada siang hari pukul 10.00 hingga pukul 12.30.



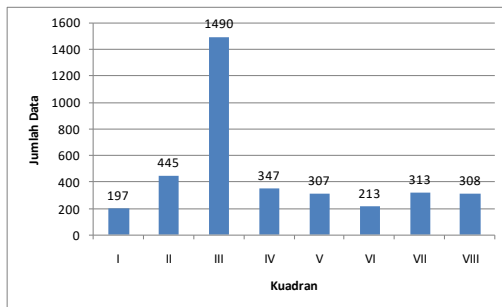
Gambar 4. 87 Pola Distribusi Kecepatan dan Arah Angin di SUF 7 Kebonsari



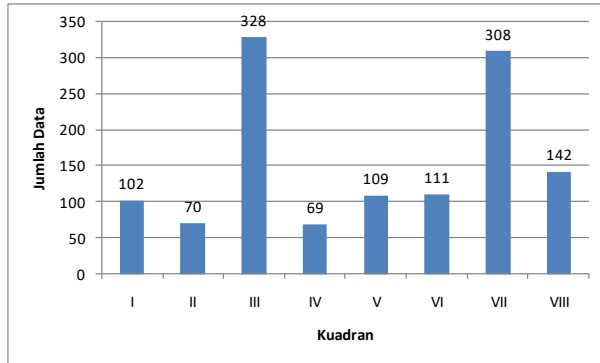
Gambar 4. 88 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Jam pada SUF 7



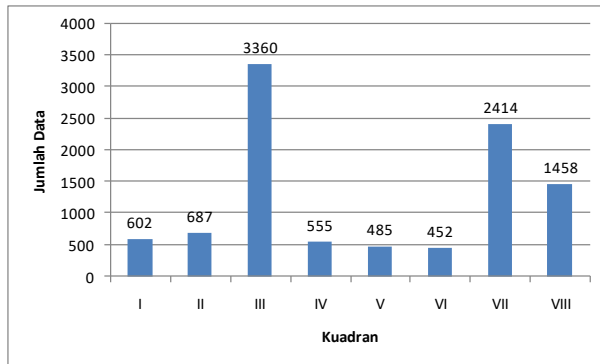
Gambar 4. 89 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_2 Berdasarkan PP 41/1999 Pengukuran 1 Tahun pada SUF 7



Gambar 4. 90 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter NO_x pada SUF 7



Gambar 4. 91 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan Pergub Jatim 10/2009 pada SUF 7



Gambar 4. 92 Grafik Arah Angin Dominan yang Mempengaruhi Melebihi Baku Mutu Parameter O₃ Berdasarkan PP 41/1999 pada SUF 7

Gambar 4.87 menggambarkan pola distribusi arah dan kecepatan angin rata-rata selama 3 tahun. Arah angin dominan dari arah barat. Sedangkan Gambar 4.88 hingga Gambar 4.92 menggambarkan arah angin dominan yang mempengaruhi melebihi baku mutu. Arah angin dominan parameter NO₂ pengukuran 1 tahun terjadi pada kuadran III (90° - 135° atau timur). Arah angin dominan parameter NO₂ pengukuran 1 tahun terjadi pada kuadran III (90° - 135° atau timur). Arah

angin dominan parameter NO_x terjadi pada kuadran III ($90^\circ - 135^\circ$ atau timur). Arah angin dominan parameter O_3 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 terjadi pada kuadran III ($90^\circ - 135^\circ$ atau timur). Arah angin dominan parameter O_3 berdasarkan PP no 41/1999 terjadi pada kuadran III ($90^\circ - 135^\circ$ atau timur). Dari kelima gambar tersebut dapat dikatakan bahwa arah angin yang mempengaruhi melebihi baku mutu adalah angin dari arah timur. Sesuai dengan gambar 4.92 sisi barat SUF 7 terdapat pemukiman yang padat dan juga beberapa perkantoran. Melihat pada alur pola konsentrasinya maka sebaiknya pada sisi timur kelurahan kebonsari tidak diperkenankan untuk menambah jumlah pemukiman maupun perkantoran. Selain itu di sisi timur terdapat jalan tol dan Jalan A.Yani yang merupakan jalan utama di Kota Surabaya.



Gambar 4. 93 Lokasi SUF 7 Kebonsari Kota Surabaya



Gambar 4. 94 Stasiun Monitoring Udara Ambien di Kelurahan Kebonsari



Gambar 4. 95 Jalan Tol di Sisi Timur SUF 7



Gambar 4. 96 Pemukiman di Sisi Timur SUF 7

Jalan A.Yani yang merupakan jalan utama di Kota Surabaya juga merupakan salah satu sumber pencemar. “Derajat kejenuhan jalan A.yani 1,22 ruas sisi selatan dan 1,30 ruas sisi utara pada pagi hari. Pada sore hari, derajat kejenuhan 0,87 untuk sisi selatan dan 0,88 untuk sisi utara” (Santosa, 2013).

Setiap ruas Jalan A.Yani memiliki *frontage road*. *Frontage road* dapat menurunkan derajat kejenuhan dari Jalan A.Yani. menurut Santoso (2013) kinerja jalan dengan adanya *frontage road* pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Kinerja jalan A.Yani

Ruas Jalan	Tahun	Q	C	DS
A.Yani sisi Selatan	2013	2362	4554	0,520
	2020	3739	4554	0,823
A.Yani sisi Utara	2013	3117	4554	0,467
	2020	4935	4554	0,739
<i>Frontage Road</i> sisi Selatan	2013	3132	4554	0,469
	2020	4959	4554	0,743
<i>Frontage Road</i> sisi Utara	2013	3117	4554	0,476
	2020	4935	4554	0,739

Untuk menurunkan tingkat kejenuhan, dapat ditambahkan simpang bersinyal pada ruas *frontage road*. Dengan adanya rekayasa simpang bersinyal dapat menurunkan DS menjadi 0,63.

4.4 Pengaruh Meteorologi, Akhir Pekan, *Car Freeday* dan Libur Panjang

Pengaruh meteorologi, akhir pekan, *car freeday* dan libur panjang terhadap konsentrasi pencemar dilakukan menggunakan *platform open source* R 3.3.2. *Car freeday* diasumsikan dilakukan setiap minggu. Libur panjang mengacu pada kalender masehi. Rincian tanggal libur panjang dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Libur Panjang Berdasarkan Kalender Masehi

2012	2013	2014	2015	2016
01-Jan	01-Jan	01-Jan	01-Jan	01-Jan
23-Jan	24-Jan	14-Jan	03-Jan	08-Feb
05-Feb	10-Feb	31-Jan	19-Feb	09-Mar
23-Mar	12-Mar	31-Mar	21-Mar	25-Mar
06-Apr	29-Mar	18-Apr	03-Apr	01-Mei
06-Mei	09-Mei	01-Mei	01-Mei	05-Mei
15-Mei	25-Mei	15-Mei	14-Mei	22-Mei
17 - 18 Mei	06-Jun	27-Mei	16-Mei	4 - 8 Jul
29-Mei	5 - 9 Agust	29-Mei	02-Jun	17-Agust
17-Jun	17-Agust	28 - 31 Jul	16 - 21 Jul	12-Sep
17-Agust	14 - 15 Okt	01-Agust	17-Agust	02-Okt
19 - 22 Agust	05-Nop	17-Agust	24-Sep	12-Des
26-Okt	25 - 26 Des	05-Okt	14-Okt	25 - 26 Des
15 - 16 Nov		25-Okt	09-Des	
25 - 26 Des		25 - 26 Des	25 - 26 Des	

Korelasi meteorologi, akhir pekan, *car freeday* dan libur panjang terhadap pencemar dapat dilihat pada Tabel 4.7 Hingga 4.10

Tabel 4. 7 Random Effect Parameter NO

Group	Variance
Station (Intercept)	112,6
Residual	285,9

Tabel 4. 8 Random Effect Parameter NO₂

Group	Variance
Station (Intercept)	43,58
Residual	259,87

Tabel 4. 9 Random Effect Parameter O₃

Group	Variance
Station (Intercept)	490,7
Residual	2554,9

Tabel 4.7 hingga 4.9 merupakan *random effect* setiap SUF. *Random effect* menggambarkan pengaruh antar SUF dan pengaruh variabel di dalam SUF sendiri. *Station* merupakan pengaruh antar SUF, sedangkan *residual* merupakan variabel di dalam SUF. Nilai *residual* lebih besar dari nilai *station* sehingga SUF 1, 6 dan 7 tidak saling mempengaruhi nilai pencemar. Nilai pencemar dipengaruhi oleh dinamika faktor di dalam SUF itu sendiri seperti faktor meteorologi maupun faktor sumber pencemar. Dinamika faktor didalam SUF dapat mempengaruhi konsentrasi NO 285,9 kali. Sedangkan untuk konsentrasi NO₂ dan O₃ dinamika faktor didalam SUF mempengaruhi 359,87 dan 2554,9 kali. Variabel-variabel tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4. 10 Korelasi meteorologi, akhir pekan, *car freeday* dan libur panjang terhadap pencemar

Variabel	NO ₂		NO		O ₃	
	Esti masi	Nilai t	Esti masi	Nilai t	Esti masi	Nilai t
Intercept	157.41	23.79	61.04	6.71	-208.5	-9.52
Polutan						
NO (µg/m ³)	-0.02	-2.06			-0.16	-5.46
NO ₂ (µg/m ³)			-0.02	-2.07	0.36	12.09
O ₃ (µg/m ³)	0.04	12.09	-0.02	-5.46		

Variabel	NO ₂		NO		O ₃	
	Esti masi	Nilai t	Esti masi	Nilai t	Esti masi	Nilai t
Meteorologi						
Kecepatan Angin (m/s)	-1.78	-7.82	-2.00	-8.36	-5.72	-8.02
Radiasi Matahari (W/m ²)	-0.02	-21.97	-0.01	-7.71	0.03	8.39
Kelembaban (%)	-0.69	-31.91	0.15	6.17	0.82	11.55
Suhu (°C)	-3.15	-27.54	-1.74	-14.16	6.83	18.71
Hari (Hari Kerja Sebagai Basis)						
Akhir Pekan	-1.85	-3.19	-3.01	-4.95	-0.60	-0.33
CFD	-4.52	-7.66	-5.92	-9.58	0.56	0.3
Libur Panjang	-7.08	-10.48	-8.36	-11.82	20.80	9.82
Musim (Kemarau Sebagai Basis)						
Musim Hujan	-0.03	-0.07	-7.22	-18.19	5.65	4.70
Arah Angin (Utara Sebagai Basis)						
Timur Laut (°)	2.91	3.28	6.69	7.19	-15.80	-5.68
Timur (°)	6.13	8.03	13.16	16.59	-18.36	-7.67
Tenggara (°)	3.97	4.14	5.77	5.73	-10.04	-3.33
Selatan (°)	0.85	0.87	-1.36	-1.33	-6.99	-2.29
Barat Daya (°)	-1.07	-1.11	-3.68	-3.64	-10.14	-3.36
Barat (°)	-6.17	-7.89	-8.34	-10.19	-7.86	-3.20
Barat Laut (°)	-3.46	-4.08	-5.88	-6.63	5.44	2.05

Nilai t menunjukkan signifikan suatu variabel. Dimana dapat dikatakan signifikan bila nilai $t \geq 0,64$. Apabila nilai $t < 0,64$ maka variabel tersebut memiliki pengaruh namun tidak signifikan.

Meteorologi dapat mempengaruhi konsentrasi pencemar NO, NO₂ dan O₃. Kecepatan Angin berpengaruh mengurangi konsentrasi NO, NO₂ dan O₃. Kecepatan angin mengurangi konsentrasi NO, NO₂ dan O₃ masing-masing sebesar 2, 1,78 dan 5,72 kali. Keberadaan radiasi matahari berpengaruh mengurangi

nilai NO (0,01 kali) dan NO₂ (0,02 kali), namun dapat meningkatkan konsentrasi O₃ (0,03 kali). Hal ini sesuai dengan pembahasan pada subbab 4.2 dimana konsentrasi O₃ memiliki waktu puncak pada siang hari. Tingkat kelembaban juga berpengaruh terhadap konsentrasi pencemar. Kelembaban dapat mengurangi konsentrasi NO₂ sebesar 0,69 kali. Kelembaban juga dapat meningkatkan konsentrasi NO dan O₃ masing-masing sebesar 0,15 dan 0,82 kali. Suhu dapat mengurangi konsentrasi NO (1,74 kali) dan NO₂ (3,15 kali), namun suhu dapat meningkatkan konsentrasi O₃ (6,83 kali).

Arah angin dari arah timur laut dapat meningkatkan 2,91 kali konsentrasi NO₂, 6,69 kali konsentrasi NO dan dapat menurunkan 15,8 kali konsentrasi O₃. Hal ini sama seperti arah angin dari timur, tenggara dan selatan dapat meningkatkan konsentrasi NO dan NO₂ serta menurunkan konsentrasi O₃. Arah angin dari barat daya dan barat dapat menurunkan konsentrasi NO, NO₂ dan O₃. Sedangkan arah angin dari barat laut menurunkan konsentrasi NO dan NO₂ serta meningkatkan konsentrasi O₃.

Meteorologi yang berpengaruh besar dalam perubahan konsentrasi pencemar adalah kecepatan angin. "Kecepatan angin yang kuat dapat membawa polutan kemanapun sesuai arahnya sehingga dapat mencemari daerah lain pada jarak yang jauh. Sebaliknya, kecepatan angin yang lemah polutan akan menetap dan semakin bertambah di kawasan sumber pencemarnya" (Chandra, 2006). Selain kecepatan angin, *mixing height* juga mempengaruhi dispersi pencemar. Tingkat *mixing height* dipengaruhi oleh lapisan inversi. "Lapisan inversi akan mengurangi tingkat *mixing height*, sehingga membatasi dispersi pencemar yang dilepaskan secara vertikal ke atmosfer. Semakin level ketinggian lapisan inversi mendekati permukaan bumi, semakin kecil area *mixing height* sehingga mengakibatkan proses dispersi polutan minimum dan kualitas udara ambien menjadi buruk" (Wikandari, 2015). Kota Surabaya memiliki rata-rata ketinggian lapisan inversi pada pukul 00.00 WIB adalah 771 m. Sedangkan pada pukul 12.00 WIB adalah 762 m. Rata-rata ketinggian lapisan inversi pada malam hari lebih tinggi dibandingkan pada siang hari.

Pada saat musim penghujan konsentrasi O_3 lebih besar 5,65 kali dari musim kemarau. Konsentrasi O_3 menjadi tinggi saat hujan yang disebabkan oleh petir (Sari, 2015). Pada musim penghujan konsentrasi NO_2 lebih kecil 0,03 kali dari musim penghujan yang disebabkan oleh air hujan yang dapat melarutkan NO_2 . Nilai kelarutan NO_2 dalam air sebesar 0,0292 g/ml pada suhu $0^\circ C$, dimana semakin panas kelarutan akan semakin kecil (Anonim, 2008). Kota Surabaya rata-rata suhu sebesar $25^\circ C - 30^\circ C$ sehingga tingkat terlarut NO_2 menjadi rendah.

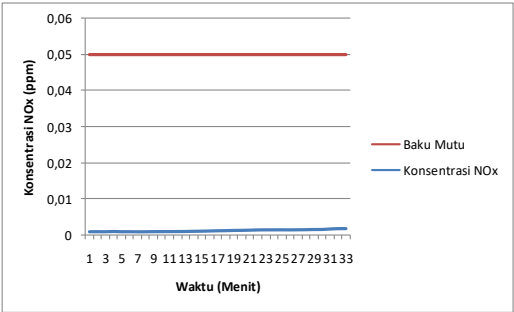
Tingkat kepadatan kendaraan bermotor juga mempengaruhi konsentrasi NO , NO_2 dan O_3 . Pada akhir pekan, *car freeday* dan libur panjang konsentrasi NO dan NO_2 berkurang. Pada akhir pekan, *car freeday* dan libur panjang dapat menurunkan konsentrasi NO sebesar 3,01, 5,92 dan 8,36 kali. Pada akhir pekan, *car freeday* dan libur panjang dapat menurunkan konsentrasi NO_2 sebesar 1,85, 4,52 dan 7,08 kali. Hal ini disebabkan emisi yang dari kendaraan berkurang. Telah diketahui bahwa NO dan NO_2 merupakan salah satu polutan udara sumber kendaraan bermotor (Vallero, 2008). Pada akhir pekan dapat menurunkan konsentrasi O_3 (0,06 kali) namun tidak signifikan. Sedangkan pada saat *car freeday* dan libur panjang dapat meningkatkan konsentrasi O_3 sebesar 0,56 dan 20,8 kali.

Alat pemantau udara berbasis mikrokontroler juga dijalankan pada saat *car free day* di Taman Bungkul Darmo. Hasil *running* di konversikan dahulu dalam satuan ppm dengan menggunakan persamaan hasil kalibrasi. Contoh perhitungannya sebagai berikut

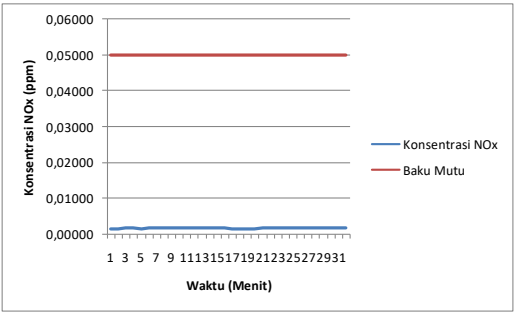
- Persamaan hasil kalibrasi $\rightarrow y = -3 \times 10^{-6} x + 0,003$
- Hasil dari alat mikrokontroler $\rightarrow x = 667$ volt
- Konsentrasi $NO_x = -3 \times 10^{-6} x + 0,003$
 $= -3 \times 10^{-6} (667) + 0,003$
 $= 0,001$ ppm

Hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada lampiran A. Terdapat 3 titik lokasi yang dipilih disesuaikan dengan sumber listriknya. Titik pertama berada di dekat *Pizza Hut*, yang kedua di *Loop Station* dan yang ketiga di *Pediasure*. Data hasil *running*

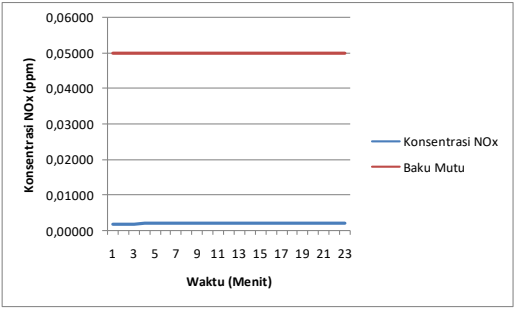
alat mikrokontroller dapat dilihat pada Gambar 4.97 hingga 4.92. Hasil dari ketiga titik tersebut menunjukkan konsentrasi NO_x dibawah baku mutu.



Gambar 4. 97 Konsentrasi NOx di Titik Pertama (*Pizza Hut*)



Gambar 4. 98 Konsentrasi NOx di Titik Kedua (*Loop Station*)



Gambar 4. 99 Konsentrasi NOx di Titik Ketiga (*Pediasure*)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Indria dan Ali yang dilakukan di Jl Jemur sari, program *car free day* dapat mereduksi emisi NO_2 sebesar 60,2%. Sedangkan untuk konsentrasi NO_2 pada udara ambien turun sebesar 83%. Sehingga program *car free day* dapat digunakan sebagai alternatif rekayasa lalu lintas. Namun untuk penambahan titik lokasi *car free day* perlu dilakukan kajian lebih lanjut. Penambahan jalur CFD perlukajian yang panjang. Kajian pengalihan lalu lintas diperlukan agar pengguna jalan raya tidak dirugikan (Suhudi, 2017).

4.5 Ringkasan Pembahasan Penelitian

Kalibrasi alat pemantau udara berbasis mikrokontroller dilakukan di SUF 1 Taman Prestasi Kota Surabaya. Kalibrasi rencananya dilakukan pada tanggal 3 – 10 April 2017. Namun terjadi kendala dimana alat tidak merekam data sejak tanggal 5 april 2017.

Hasil kalibrasi alat pemantau udara berbasis mikrokontroller dapat dikatakan buruk, dimana nilai koefisien regresinya adalah 0,001. Untuk itu, alat pemantau udara berbasis mikrokontroller ini belum bisa digunakan sebagai pengganti stasiun monitoring kualitas udara ambien (SUF). Perlu dilakukan berbagai evaluasi terhadap alat ini. Evaluasinya adalah sebagai berikut

1. Mengganti sensor. Sensor yang digunakan saat ini adalah sensor MQ-135. Pada beberapa *datasheet* mengklaim bahwa sensor ini memiliki *lifetime* yang lama. Namun saat terakhir digunakan di SUF 1 sensor sangat panas. Sensor ini juga sudah digunakan selama kurang lebih 9 bulan.
2. Memperbaiki transfer data ke *website*. Pada saat pemasangan alat sering terjadi error di pengiriman data ke *website*. Harus sering dilakukan *update* untuk memperbaikinya. Oleh sebab itu harus dilakukan perbaikan terhadap transfer data agar saat *running* alat tidak terjadi *error*.
3. Mengganti metode kalibrasi. Kalibrasi dapat dilakukan seperti metode yang dilakukan oleh Suryaningsih (2017). Pengkalibrasian alat dilakukan dengan membangun sistem kerja kalibrasi dengan memasang PGas-21 dan rangkaian

sensor NO_x pada sebuah chamber gas. Berdasarkan hasil penelitian dari Suryaningsih (2017), nilai regresi dari kalibrasi adalah 0,9713.

Alat mikrokontroller dijalankan di CFD Darmo menggunakan persamaan dari kalibrasi. Terdapat 3 titik lokasi yang dipilih disesuaikan dengan sumber listriknya. Titik pertama berada di dekat *Pizza Hut*, yang kedua di *Loop Station* dan yang ketiga di *Pediasure*. Hasil dari ketiga titik tersebut menunjukkan konsentrasi NO_x dibawah baku mutu.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Indria dan Ali yang dilakukan di Jl Jemur sari, program *car free day* dapat mereduksi emisi NO_2 sebesar 60,2%. Sedangkan untuk konsentrasi NO_2 pada udara ambien turun sebesar 83%. Sehingga program *car free day* dapat digunakan sebagai alternatif rekayasa lalu lintas. Namun untuk penambahan titik lokasi *car free day* perlu dilakukan kajian lebih lanjut. Penambahan jalur CFD perlu kajian yang panjang. Kajian pengalihan lalu lintas diperlukan agar pengguna jalan raya tidak dirugikan (Suhudi, 2017).

Evaluasi terhadap konsentrasi pencemar NO_2 dilakukan berdasarkan Peraturan Pemerintah No 41/1999. Baku mutu NO_2 untuk waktu 1 jam adalah $400 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ sedangkan baku mutu NO_2 untuk waktu 1 tahun adalah $100 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Evaluasi terhadap konsentrasi pencemar NO_x dilakukan berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No 10 tahun 2009 dengan waktu pengukuran selama 24 jam. Baku mutu NO_x berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 adalah $92,5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Evaluasi terhadap konsentrasi pencemar O_3 dilakukan berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No 10 tahun 2009 dengan waktu pengukuran 1 jam. Namun demikian, hasil juga dibandingkan dengan baku mutu PP No 41/1999 dengan waktu pengukuran 1 tahun. Baku mutu O_3 berdasarkan Pergub Jatim No 10/2009 adalah $200 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (1 jam) dan berdasarkan PP No 41/1999 adalah $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hasil rekapitulasi dari evaluasi setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 4.11

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Jumlah Data yang Melebihi Baku Mutu

SUF	Parameter				
	NO ₂		NO _x Pergub Jatim 10/2009 (24Jam)	O ₃	
	PP 41/1999 (1Jam)	PP 41/1999 (1Tahun)		Pergub Jatim 10/2009 (1Tahun)	PP 41/1999 (1Tahun)
1	0	0	16	645	18.712
6	0	24	573	735	21.119
7	3	95	3.620	1.239	10.013

Dari hasil evaluasi setiap parameter pencemar, data yang melebihi baku mutu dilakukan analisa setiap SUF. Analisa dilakukan untuk mengetahui sumber pencemar yang menimbulkan konsentrasi melebihi baku mutu. Analisa setiap SUF di fokuskan pada hari, jam serta arah angin dominan yang melebihi baku mutu. Data hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.12 hingga Tabel 4.14

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Evaluasi SUF 1

Parameter Analisa	Parameter Pencemar				
	NO ₂		NO _x Pergub Jatim 10/2009 (24Jam)	O ₃	
	PP 41/1999 (1Jam)	PP 41/1999 (1Tahun)		Pergub Jatim 10/2009 (1Tahun)	PP 41/1999 (1Tahun)
Hari Dominan	-	-	Senin	Sabtu	Kamis
Jam Dominan	-	-	20.30 – 23.30	10.30	10.30

Arah Angin Dominan	-	-	Barat Laut	Barat	Barat
--------------------	---	---	------------	-------	-------

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Evaluasi SUF 6

Parameter Analisa	Parameter Pencemar				
	NO ₂		NO _x	O ₃	
	PP 41/1999 (1Jam)	PP 41/1999 (1Tahun)	Pergub Jatim 10/2009 (24Jam)	Pergub Jatim 10/2009 (1Tahun)	PP 41/1999 (1Tahun)
Hari Dominan	-	Jum'at	Jum'at	Senin	Jum'at
Jam Dominan	-	08.00	07.00	11.30	11.30
Arah Angin Dominan	-	Timur	Barat Daya	Timur	Timur

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Evaluasi SUF 7

Parameter Analisa	Parameter Pencemar				
	NO ₂		NO _x	O ₃	
	PP 41/1999 (1Jam)	PP 41/1999 (1Tahun)	Pergub Jatim 10/2009 (24Jam)	Pergub Jatim 10/2009 (1Tahun)	PP 41/1999 (1Tahun)
Hari Dominan	Kamis	Kamis	Jum'at	Rabu	Minggu
Jam Dominan	07.30 ; 17.30	07.30 ; 17.30	07.00 ; 19.00	10.00 – 13.30	10.00 – 13.30

Arah Angin Dominan	Timur	Timur	Timur	Timur	Timur
--------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Berdasarkan Tabel 4.12 hingga Tabel 4.14 dapat di analisa sumber pencemar yang mempengaruhi melebihi baku mutu. Pada SUF 1 arah angin yang mempengaruhi melebihi baku mutu adalah angin dari arah barat. Sisi barat taman prestasi merupakan pusat kota yang padat seperti Jalan Tunjungan. “Derajat kejenuhan Jalan Tunjungan pada pagi hari adalah 0,71. Pada siang dan sore hari derajat kejenuhan Jalan Tunjungan adalah 0,866 dan 0,855” (Safitri dan Prasetyowati, 2013). Derajat kejenuhan rata-rata lebih dari 0,75 oleh sebab itu diperlukan rekayasa lalu lintas. Menurut Safitri dan Prasetyowati (2013) rekayasa yang sesuai adalah perubahan fase dan pengalihan arus pergerakan. Fase pergerakan menggunakan 2 fase.

Arah angin yang mempengaruhi melebihi baku mutu pada SUF 6 adalah angin dari arah timur. Sisi timur wonorejo terdapat pemukiman dan juga pasar dimana kegiatan manusia banyak terjadi disekitarnya. Melihat pada alur pola konsentrasinya maka sebaiknya pada sisi timur kebun bibit wonorejo tidak diperkenankan untuk menambah jumlah pemukiman.

Arah angin yang mempengaruhi melebihi baku mutu pada SUF 7 adalah angin dari arah timur. Sisi barat SUF 7 terdapat pemukiman yang padat dan juga beberapa perkantoran. Melihat pada alur pola konsentrasinya maka sebaiknya pada sisi timur kelurahan kebonsari tidak diperkenankan untuk menambah jumlah pemukiman maupun perkantoran. Selain itu di sisi timur terdapat jalan tol dan Jalan A.Yani yang merupakan jalan utama di Kota Surabaya. Pada sisi selatan dan utara Jl A.Yani terdapat *frontage road* yang dapat menurunkan derajat kejenuhan, untuk lebih mengoptimalkan perlu ditambahkan rekayasa simpang bersinyal.

Konsentrasi pencemar dipengaruhi oleh dinamika faktor di dalam SUF itu sendiri seperti faktor meteorologi maupun faktor sumber pencemar. Meteorologi yang berpengaruh besar dalam

perubahan konsentrasi pencemar adalah kecepatan angin. “Kecepatan angin yang kuat dapat membawa polutan kemanapun sesuai arahnya sehingga dapat mencemari daerah lain pada jarak yang jauh. Sebaliknya, kecepatan angin yang lemah polutan akan menetap dan semakin bertambah di kawasan sumber pencemarnya” (Chandra, 2006). Selain kecepatan angin, *mixing height* juga mempengaruhi dispersi pencemar. Tingkat *mixing height* dipengaruhi oleh lapisan inversi. “Lapisan inversi akan mengurangi tingkat *mixing height*, sehingga membatasi dispersi pencemar yang dilepaskan secara vertikal ke atmosfer. Semakin level ketinggian lapisan inversi mendekati permukaan bumi, semakin kecil area *mixing height* sehingga mengakibatkan proses dispersi polutan minimum dan kualitas udara ambien menjadi buruk” (Wikandari, 2015). Kota Surabaya memiliki rata-rata ketinggian lapisan inversi pada pukul 00.00 WIB adalah 771 m. Sedangkan pada pukul 12.00 WIB adalah 762 m. Rata-rata ketinggian lapisan inversi pada malam hari lebih tinggi dibandingkan pada siang hari.

Pada saat musim penghujan konsentrasi O_3 lebih besar 5,65 kali dari musim kemarau. Konsentrasi O_3 menjadi tinggi saat hujan yang disebabkan oleh petir (Sari, 2015). Pada musim penghujan konsentrasi NO_2 lebih kecil 0,03 kali dari musim penghujan yang disebabkan oleh air hujan yang dapat melarutkan NO_2 . Nilai kelarutan NO_2 dalam air sebesar 0,0292 g/ml pada suhu $0^{\circ}C$, dimana semakin panas kelarutan akan semakin kecil (Anonim, 2008). Kota Surabaya rata-rata suhu sebesar $25^{\circ}C - 30^{\circ}C$ sehingga tingkat terlarut NO_2 menjadi rendah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Alat pemantau udara berbasis mikrokontroler memiliki hasil kalibrasi yang relatif buruk. Nilai regresinya adalah 0,001 sehingga alat ini belum bisa digunakan sebagai pengganti stasiun pemantau udara (SUF). Alat ini dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk alat serupa selanjutnya.
2. Pola harian (*diurnal pattern*) konsentrasi pencemar NO, NO₂ memiliki 2 waktu puncak yaitu pada pagi hari dan malam hari. Pola harian (*diurnal pattern*) konsentrasi pencemar O₃ memiliki waktu puncak pada siang hari.
3. Sumber pencemar dari setiap SUF berbeda-beda. SUF 1 sumber pencemar dari arah barat sedangkan SUF 6 dan 7 dari arah timur. Sisi barat SUF 1 terdapat Jalan Tunjungan. Sisi Timur SUF 6 terdapat pasar dan pemukiman. Sedangkan di sisi timur SUF 7 terdapat pemukiman, beberapa perkantoran, jalan tol an juga Jalan A.Yani yang merupakan jalan utama Kota Surabaya.
4. Pengaruh meteorologi, *car freeday*, akhir pekan serta libur panjang terhadap konsentrasi pencemar udara NO, NO₂, O₃ sebagai berikut
 - a. Meteorologi yang berpengaruh besar dalam perubahan konsentrasi pencemar adalah kecepatan angin. Kecepatan angin mempengaruhi dispersi pencemar dimana dispersi pencemar juga dipengaruhi oleh lapisan inversi dan *mixing height*. Jika ketinggian lapisan inversi mendekati bumi maka *mixing height* semakin kecil sehingga dispersi polutan minimum dan kualitas udara ambien menjadi buruk.
 - b. Konsentrasi O₃ pada saat musim penghujan lebih besar dari musim kemarau yang di sebabkan petir saat hujan. Konsentrasi NO₂ pada saat musim penghujan lebih kecil dari musim kemarau yang disebabkan air hujan yang melarutkan NO₂. Perbedaan konsentrasi NO₂ saat musim

penghujan dan kemarau sangat kecil. Hal ini disebabkan suhu Kota Surabaya 25°C – 30°C sehingga tingkat terlarut NO_2 menjadi rendah.

- c. Pada akhir pekan, *car freeday* dan libur panjang konsentrasi NO dan NO_2 lebih rendah dari hari selain akhir pekan, *car freeday* dan libur panjang.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan dari penelitian ini adalah

1. Mengganti sensor dan memperbaiki *transfer* data ke *website* untuk mengoptimalkan kerja alat pemantau udara.
2. Mengganti metode kalibrasi. Pengkalibrasian alat dilakukan dengan membangun sistem kerja kalibrasi dengan memasang PGas-21 dan rangkaian sensor NO_x pada sebuah chamber gas.
3. Volume kendaraan bermotor mempengaruhi kualitas udara ambien, sehingga perlu dilakukan rekayasa lalu lintas. Rekayasa lalu lintas yang dapat digunakan adalah
 - a. Perubahan fase dan pengalihan arus pergerakan pada simpang Jl.Tunjungan – Jl. Genteng Kali – Jl. Gemblongan – Jl. Praban
 - b. Mengoptimalkan *frontage road* di Jl. A.Yani dengan simpang bersinyal
 - c. Penambahan titik lokasi *car free day*
4. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai titik lokasi *car free day*. Kajian terkait kajian pengalihan lalu lintas agar pengguna jalan raya tidak dirugikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, H. 2008. Pemrograman Mikrokontroler AVR ATMEGA32 Menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR). Bandung : Penerbit Informatika
- Azwar, T., dan Kholiq, A. 2013. "Anemometer Digital Berbasis Mikrokontroler Atmega-16". Jurnal Inovasi Fisika Indonesia 2, 3:41-45
- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Jakarta, 2013. *Pengertian Pencemaran Udara*.
- Budiyono, A. 2001. "Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan". Berita Dirgantara 2, 1.
- Boediningsih, W. 2011."Dampak kepadatan lalu lintas terhadap polusi udara Kota Surabaya". Jurnal Fakultas Hukum 10 : 119-137
- Chamim, A.N.N. 2010. "Penggunaan Microcontroller Sebagai Pendeteksi Posisi dengan Menggunakan Sinyal GSM". Jurnal Informatika 4, 1.
- Chandra, B. 2006. Pengantar Kesehatan Lingkungan. EGC. Jakarta
- Geng, P., Tan, Q., Zhang, C., Wei, L., He, X., Cao, E., Jiang, K. 2016."Experimental investigation on NOx and green house gas emissions from a marine auxiliary diesel engine using ultralow sulfur light fuelExperimental investigation on NOx and green house gas emissions from a marine auxiliary diesel engine using ultralow sulfur light fuel". Science of the Total Environment 572 : 467-475
- Han, S.Q., Bian, H., Tie, X.X., Xie, Y.Y., Sun, M.L., Liu, A.X. 2009."Impact of Nocturnal Planetary Boundary Layer on Urban Air Pollutants: Measurements from a 250-m Tower over Tianjin, China". J. Hazard.Mater. 162: 264–269
- Han, S., Bian, H., Feng, Y., Liu, A., Li, X., Zeng, F., Zhang, X. 2011."Analysis of the Relationship between O3, NO

- and NO₂ in Tianjin, China". *Aerosol and Air Quality Research* 11 : 128-139
- Indria., Ali, Munawar. "Pengaruh Program *Car Free Day* terhadap Penurunan Beban Pencemar CO dan NO₂". *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 7, 2:68-74
- Isnaini, V.A., Wardhana, I., dan Wirman, R.P. 2015. "Rancang Bangun Alat Ukur *Pollutant Standard Index* Yang Terintegrasi Dengan Pengukuran Faktor-Faktor Cuaca Secara *Real Time*". *Jurnal Ilmu Fisika* ISSN 7, 2:1979-4657
- Jati, H.A.P., dan Lelono, D. 2013. "Deteksi dan Monitoring Polusi Udara Berbasis *Array Sensor Gas*". *IJEIS* 3, 2:147-156
- Kastiyowati, I. 2001. Dampak dan Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara. Jakarta : Staf Puslitbang Tek Balitbang Dephan
- Kenty, K.L., Poor, N.D., Kronmiller, K.G., McClenny, W., King, K., Atkeson, T., Campbell, S.W. 2007. "Application of CALINE4 to Roadside NO/NO₂ Transformations". *Atmos. Environ.* 41: 4270–4280.
- Khoder, M.I. 2009. "Diurnal, seasonal and weekdays-weekends variations of ground level ozone concentration in an urban area in greater Cairo". *Environ Monit Assess* 149 : 349-362
- Ling, Z., Ling, B., Kuang, M., Li, Z., Ye, L. 2016. "Comparison of airflow, coal combustion, NO_x emissions, and slagging characteristics among three large-scale MBEL down-fired boilers manufactured at different times". *Applied Energy* 187 : 689-705
- Majid, Z.A., dan Mohsin, R. 2013. " Nox Emission from Bi-Fuel Motorcycle". *International Journal of Engineering and Technology* ISSN 3, 7:2049-3444
- Martono, H dan Sulistiyani, N. 2004. "Kondisi Pencemaran Gas Nitrogen Dioksida di Udara Jakarta pada Titik Nol

- Meter dan 120 Meter dari Jalan". Jurnal Bul. Penel. Kesehatan 32, 1 : 35-42.
- Mukono, 2006. Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan. Airlangga University Press, Surabaya
- Okora, B. 2008. Hubungan Antara Kualitas Fisik Udara dalam Ruang (Suhu dan Kelembapan Relatif) dengan Kejadian *Sick Building Syndrome (SBS)* pada Pegawai Kantor Pusat Perusahaan Jasa Konstruksi X di Jakarta Timur.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara
- Rani, B., Singh, U., Chuhan, A.K., Sharma, D., Maheshwari, R. 2011."Photochemical Smog Pollution and Its Mitigation Measures".Journal of Advanced Scientific Research 2, 4 : 28-33
- Rosiek, S., Batlles, F.J. 2008."A microcontroller-based data-acquisition system for meteorological station monitoring". Energy Conversion and Management 49 : 3746-3754
- Safitri, D.F.K., dan Prasetyowati, T.A. 2013."Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Tunjungan – Jl. Praban – Jl. Gembongan – Jl. Genteng Kali Akibat Adanya Pembangunan Hotel The Aston Surabaya"
- Sugiarti.2009. " Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia : Air Pollutan Gasses and The Influence of Human Health". Jurnal Chemica 10, 1:50-58
- Suhudi, M.A. Feb. 2017."Tambah Lokasi CFD Setiap Tahun", <URL:<http://www.pressreader.com/indonesia/jawa-pos/20170204/282235190392316>>
- Suryaningsih, S., Mindara, J.Y., Hidayat, S., Chaerunnisa, I. 2017."Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gas CO Berbasis Nirkabel RF untuk Pemantauan Kondisi Pencemaran Udara". Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika 01, 01:45-50

- Syafei, A.D. 2014."Analyzing and Interpreting Air Quality Monitoring Data in Surabaya". Doctoral Dissertation. Graduate School for International Development and Cooperation Hiroshima University
- Tan, P.H., Chou, C., Liang, J.Y., Chou, C.C.K., Shiu, C.J. 2009."Air Pollution "Holiday Effect" Resulting from The Chinese New Year". *Atmospheric Environment* 43 : 2114-2124
- Wardhana, W.A. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Cetakan Keempat. Yogyakarta : Penerbit ANDI
- Widowati dan Sutoyo. 2009."Upaya Mengurangi Penipisan Lapisan Ozon". *Buana Sains* 9, 2 : 141-146
- Wijayanti, D.N. 2012."Gambaran dan analisis risiko nitrogen dioksida (NO₂) per-kota/kabupaten dan provinsi di indonesia (hasil pemantauan kualitas udara ambien dengan metode pasif di pusarpedal tahun 2011)". Tugas Akhir. Universitas Indonesia, Fakultas Kesehatan Masyarakat. Depok
- Wikandari, N.I.P., Harsa, H., Assomadi, A.F., Boedisantoso, R. 2015."Penentuan Korelasi Perubahan Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi terhadap Ketinggian Lapisan Inversi dan Hubungannya dengan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya". *Jurnal Teknik ITS* 4, 1:2337-3539
- Zhan, S., Zhang, H., Zhang, Y., Shi, Q., Li, Y., Li, X. 2016."Efficient NH₃-SCR removal of NO_xwith highly ordered mesoporousWO₃(X)-CeO₂at low temperatures". *Applied Catalysis B:Environmental* 203 : 199-209

LAMPIRAN A

Tabel A. 1 Konsentrasi NOx Pada Alat Mikrokontroller (Volt) dan Pada SUF 1 (ppm)

Waktu	Konsentrasi NOx (Volt)	Konsentrasi NOx (ppm)
30	400	0.00335
60	326	0.00231
90	333	0.00142
210	322	0.00183
240	324	0.00121
270	327	0.00117
300	330	0.00277
330	324	0.00181
360	328	0.00123
390	331	0.00207
420	334	0.00146
450	343	0.00327
480	345	0.00481
510	353	0.00474
540	352	0.01049
570	340	0.0052
600	339	0.00313
630	341	0.00363
660	341	0.00252
690	336	0.00192
720	337	0.0021
750	339	0.00222
780	338	0.00211
810	337	0.00397

Waktu	Konsentrasi NOx (Volt)	Konsentrasi NOx (ppm)
840	339	0.00508
870	343	0.00512
900	343	0.00488
930	337	0.00238
960	339	0.00078
990	361	0.00052
1020	363	0.00071
1050	354	0.00118
1080	353	0.00068
1110	354	0.00061
1140	358	0.00115
1170	356	0.00223
1200	355	0.00417
1230	360	0.00372
1260	376	0.00486
1290	373	0.00346
1320	381	0.00507
1350	393	0.00512
1380	399	0.00562
1410	397	0.00234
1440	386	0.00086
1470	393	0.00054
1500	392	0.00044
1650	392	0.0009
1680	382	0.00097
1710	386	0.00115
1740	392	0.00132

Waktu	Konsentrasi NOx (Volt)	Konsentrasi NOx (ppm)
1770	396	0.00136
1800	382	0.00161
1830	373	0.00202
1860	378	0.00263
1890	380	0.00358
1920	377	0.00319
1950	373	0.00245
1980	374	0.00113
2010	375	0.00159
2040	371	0.00163
2070	359	0.00048
2100	363	0.00203
2130	372	0.00101
2160	378	0.00232
2190	369	0.00235
2220	368	0.00303
2250	368	0.00288
2280	364	0.00342
2310	361	0.00198
2340	360	0.00085
2370	358	0.00019

Tabel A. 2 Konsentrasi NOx di Car FreeDay

Lokasi	Waktu	Konsentrasi NOx (Volt)	Konsentrasi NOx (ppm)
Titik 1 (Depan Pizza Hut)	19/02/2017 6:15	667	0.00100
	19/02/2017 6:16	662	0.00101
	19/02/2017 6:17	667	0.00100
	19/02/2017 6:18	646	0.00106
	19/02/2017 6:19	666	0.00100
	19/02/2017 6:20	663	0.00101
	19/02/2017 6:21	671	0.00099
	19/02/2017 6:22	668	0.00100
	19/02/2017 6:23	659	0.00102
	19/02/2017 6:24	655	0.00104
	19/02/2017 6:25	652	0.00104
	19/02/2017 6:26	650	0.00105
	19/02/2017 6:27	645	0.00107
	19/02/2017 6:28	631	0.00111
	19/02/2017 6:29	621	0.00114
	19/02/2017 6:31	606	0.00118
	19/02/2017 6:32	588	0.00124
	19/02/2017 6:33	579	0.00126
	19/02/2017 6:36	560	0.00132
	19/02/2017 6:37	554	0.00134
	19/02/2017 6:39	539	0.00138
	19/02/2017 6:40	521	0.00144
	19/02/2017 6:41	514	0.00146
	19/02/2017 6:42	513	0.00146
	19/02/2017 6:43	511	0.00147
	19/02/2017 6:44	515	0.00146

Lokasi	Waktu	Konsentrasi NOx (Volt)	Konsentrasi NOx (ppm)
	19/02/2017 6:45	508	0.00148
	19/02/2017 6:46	501	0.00150
	19/02/2017 6:50	485	0.00155
	19/02/2017 6:51	483	0.00155
	19/02/2017 6:57	445	0.00167
	19/02/2017 7:09	416	0.00175
	19/02/2017 7:10	415	0.00176
Titik 2 (Loopstation)	19/02/2017 7:38	453	0.00164
	19/02/2017 7:39	440	0.00168
	19/02/2017 7:42	422	0.00173
	19/02/2017 7:47	421	0.00174
	19/02/2017 7:51	432	0.00170
	19/02/2017 7:56	400	0.00180
	19/02/2017 7:57	394	0.00182
	19/02/2017 7:58	392	0.00182
	19/02/2017 8:04	400	0.00180
	19/02/2017 8:05	404	0.00179
	19/02/2017 8:06	415	0.00176
	19/02/2017 8:07	401	0.00180
	19/02/2017 8:08	401	0.00180
	19/02/2017 8:10	412	0.00176
	19/02/2017 8:11	413	0.00176
	19/02/2017 8:12	415	0.00176
	19/02/2017 8:15	454	0.00164
	19/02/2017 8:16	462	0.00161
	19/02/2017 8:17	466	0.00160
	19/02/2017 8:19	482	0.00155

Lokasi	Waktu	Konsentrasi NOx (Volt)	Konsentrasi NOx (ppm)
	19/02/2017 8:20	415	0.00176
	19/02/2017 8:23	390	0.00183
	19/02/2017 8:24	385	0.00185
	19/02/2017 8:25	383	0.00185
	19/02/2017 8:26	379	0.00186
	19/02/2017 8:27	377	0.00187
	19/02/2017 8:29	378	0.00187
	19/02/2017 8:30	376	0.00187
	19/02/2017 8:31	378	0.00187
	19/02/2017 8:32	377	0.00187
	19/02/2017 8:33	374	0.00188
	19/02/2017 8:34	377	0.00187
Titik 3 (Pediasure)	19/02/2017 8:47	427	0.00172
	19/02/2017 8:48	419	0.00174
	19/02/2017 8:49	398	0.00181
	19/02/2017 8:51	376	0.00187
	19/02/2017 8:52	372	0.00188
	19/02/2017 8:56	362	0.00191
	19/02/2017 8:57	362	0.00191
	19/02/2017 8:58	360	0.00192
	19/02/2017 8:59	361	0.00192
	19/02/2017 9:00	359	0.00192
	19/02/2017 9:01	358	0.00193
	19/02/2017 9:02	357	0.00193
	19/02/2017 9:03	361	0.00192
	19/02/2017 9:04	358	0.00193
	19/02/2017 9:05	357	0.00193

Lokasi	Waktu	Konsentrasi NOx (Volt)	Konsentrasi NOx (ppm)
	19/02/2017 9:10	351	0.00195
	19/02/2017 9:11	353	0.00194
	19/02/2017 9:12	355	0.00194
	19/02/2017 9:15	355	0.00194
	19/02/2017 9:16	351	0.00195
	19/02/2017 9:17	351	0.00195
	19/02/2017 9:18	350	0.00195
	19/02/2017 9:19	350	0.00195

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kabupaten Malang pada tanggal 19 Februari 1995. Penulis memulai pendidikannya pada tahun 1999-2001 di TK NU Desa Sudimoro Kecamatan Bululawang, pendidikan dasar pada tahun 2001-2007 di SDN 01 Sudimoro Karanganyar, pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 1 Turen pada tahun 2007-2010 dan pendidikan tingkat atas di SMAN 5 Malang pada tahun 2010-2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya pada tahun 2013-2017.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL), panitia ITS Expo tahun 2014 dan 2015, aktif sebagai staf komunikasi dan informasi komunitas Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) HMTL pada periode kepengurusan 2014/2015 dan periode kepengurusan 2015/2016. Penulis juga mengikuti berbagai macam kegiatan pelatihan dan seminar. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT Krakatau Steel Cilegon dengan mengambil topik tentang CO₂ Absorber di *Direct Reduction Plant*. Selama studi di ITS, penulis mendapatkan beberapa beasiswa. Pada tahun 2014/2015 mendapatkan beasiswa Bantuan Biaya Pendidikan (BBP) dikti, kemudian pada tahun 2015/2016 mendapatkan beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) Dikti. Pada tahun 2016/2017 mendapatkan beasiswa Yayasan Toyota & Astra. Penulis dapat dihubungi via email qconstantya@gmail.com.